

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова*.  
Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой*.  
Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

---

Подписано к использованию 09.09.2020.  
Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>

## СОСТАВ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

Председатель  
Программного  
комитета

Лазовский Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, профессор,  
ректор Полоцкого государственного университета (Беларусь)

Заместитель  
председателя  
Программного  
комитета

Парфенова Людмила Михайловна, кандидат технических наук, доцент,  
заведующая кафедрой строительного производства, Полоцкий  
государственный университет (Беларусь)

Члены  
Программного  
комитета

Батяновский Эдуард Иванович, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов,  
Белорусский национальный технический университет (Минск)

Леонович Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор,  
декан строительного факультета, Белорусский национальный  
технический университет (Минск)

Гольшемахер Клаус, доктор технических наук, профессор, Высшая школа  
техники, экономики и культуры, Лейпцигский университет прикладных  
наук (Германия)

Рыбаков Юрий, PhD, профессор, Ариэльский университет (Израиль)

Флориндо Гаспар, PhD, профессор, Политехнический институт г. Лейрия  
(Португалия)

Журавская Наталья Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры  
(Украина)

Дергунов Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой автомобильных дорог и строительных  
материалов, Оренбургский государственный университет, директор  
испытательного центра «Оренбургстройиспытания» (Россия)

Бакатович Александр Александрович, кандидат технических наук,  
доцент, декан инженерно-строительного факультета, Полоцкий  
государственный университет (Беларусь)

Волик Алла Ричардовна, кандидат технических наук, доцент, декан  
строительного факультета, Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы (Беларусь)

Сафончик Дмитрий Иосифович, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой строительного производства, Гродненский  
государственный университет имени Янки Купалы (Беларусь)

Лазовский Егор Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой строительных конструкций, Полоцкий  
государственный университет (Беларусь)

Платонова Раиса Михайловна, кандидат технических наук, доцент,  
заведующая кафедрой архитектуры, Полоцкий государственный  
университет (Беларусь)

Давыденко Надежда Владимировна, кандидат технических наук, доцент,  
Полоцкий государственный университет (Беларусь)

## СОСТАВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Председатель оргкомитета:

Парфенова Людмила Михайловна, заведующая кафедрой строительного производства, кандидат технических наук, доцент, Полоцкий государственный университет (Беларусь)

Члены оргкомитета:

Бакатович Александр Александрович, декан инженерно-строительного факультета, кандидат технических наук, доцент, Полоцкий государственный университет (Беларусь)

Лазовский Егор Дмитриевич, заведующий кафедрой строительных конструкций, кандидат технических наук, доцент, Полоцкий государственный университет (Беларусь)

Платонова Раиса Михайловна, заведующая кафедрой архитектуры, кандидат технических наук, доцент, Полоцкий государственный университет (Беларусь)

Давыденко Надежда Владимировна, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, кандидат технических наук, доцент, Полоцкий государственный университет (Беларусь)

Секретариат конференции:

Ягубкин Александр Николаевич

старший преподаватель кафедры строительного производства

Разуева Екатерина Андреевна

ассистент кафедры строительного производства

Долгонок Андрей Валентинович

ассистент кафедры строительного производства

Катульская Александра Станиславовна

ассистент кафедры строительного производства

Лазовская Ирина Викторовна

ассистент кафедры строительного производства

Хватынец Владислав Александрович

ассистент кафедры архитектуры

Кухлевская Светлана Владимировна

специалист по сопровождению учебного процесса кафедры строительного производства

Секция I  
**АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**УДК 721.05, 365.272**

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПЛАНИРОВКЕ БЛОКА  
ДЛЯ СТУДЕНЧЕСКИХ СЕМЕЙ В ОБЩЕЖИТИИ ВУЗА**

**Л.Е. Кондратьева, А.А. Ханбабаева**

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: Kondratieva\_L\_E@mail.ru, hanbabaeva99@bk.ru

*Существующая практика организации проживания студенческих семей в общежитиях ВУЗов предполагает размещение семейных студентов в таких же типовых комнатах и блоках, в каких живут не семейные студенты и которые не предусмотрены для проживания семей с детьми. Это не способствует развитию студенческой семьи, увеличению количества студенческих семей с детьми. Предлагается организация пространства семейного этажа в студенческом общежитии, учитывающая потребности молодой учащейся семьи с детьми. Создание таких специальных комфортных и функциональных блоков для студенческих семей будет способствовать не только укреплению и увеличению числа студенческих семей с детьми, но и повышению студенческой успеваемости.*

**Ключевые слова:** студенческая семья, студенческое общежитие, организация пространства.

**PROPOSALS FOR PLANNING THE BLOCK  
FOR STUDENT FAMILIES AT THE UNIVERSITY OF THE UNIVERSITY**

**L. Kondratieva, A. Khanbabaeva**

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs,  
Russian Federation  
e-mail: Kondratieva\_L\_E@mail.ru, hanbabaeva99@bk.ru

*The existing practice of organizing student families in hostels of universities involves placing family students in the same standard rooms and blocks in which non-family students live and which are not intended for families with children. This does not contribute to the development of a student family, an increase in the number of student families with children. The organization of the family floor space in a student dormitory is proposed, taking into account the needs of a young student's family with children. The creation of such special comfortable*

*and functional blocks for student families will not only strengthen and increase the number of student families with children, but also increase student achievement.*

**Keywords:** *student family, student dormitory, space organization.*

**Введение.** Демографическая проблема существует во многих странах. Одна из причин этого – проблема жилищная. Возможно, наиболее остро этот вопрос стоит для студенческой семьи, – часто ее создают молодые люди, которые находятся в данный период жизни далеко от дома и не имеют своего жилья. В такой ситуации надеждой является студенческое общежитие.

По положению об общежитиях университета «места в студенческом общежитии, выделяемые иногородним обучающимся, создавшим семью, определяются совместным решением администрации образовательного учреждения и профсоюзной организации студентов исходя из имеющегося жилого фонда и предоставляются в изолированных подъездах, секциях, этажах, блоках; крыле общежития, состоящем из отдельных блоков, квартир, с соблюдением санитарных норм проживания». Здесь нигде не говорится о том, что семейным студентам могут предоставляться блоки или секции специфической планировки, отвечающей составу семьи (наличию детей). И мы хорошо понимаем, почему об этом не говорится, – таких специфических планировок в наших студенческих общежитиях практически нет, и студенческие семьи поселяют в такие же типовые комнаты и блоки, в каких живут не семейные студенты и которые не предусмотрены для проживания семей с детьми. Это является одной из причин, по которым студенческая семья часто откладывает рождение ребенка.

По нашим данным, например, в Институте архитектуры, строительства и энергетики (ИАСиЭ) нашего университета на почти девять сотен студентов очного обучения приходится десять студенческих семей, из которых в пяти есть дети. Конечно, студенты бакалавриата зачастую еще не задумываются о браке и о детях, планируя вначале закончить учебу и начать строить карьеру. Но на старших курсах и в магистратуре (а именно там в ИАСиЭ учатся все студенческие семьи с детьми) студенческих семей (с детьми) может быть больше, если для этого будут создаваться условия, в частности, условия для семейного проживания в общежитии. Ведь студенческая семья – это особая семья: супруги обычно одного возраста, имеют общих друзей, заняты общим делом – получением профессионального образования; все это обеспечивает особые взаимосвязь и взаимопонимание, а значит, делает семью более крепкой.

**Основная часть.** В России есть отдельные примеры создания в ВУЗах условий для проживания студенческих семей с детьми. Так, к концу этого года в городе Саранск планируется ввести в эксплуатацию комфортабельное общежитие, где для студенческих семей будет существовать целый блок с игровой комнатой и детской площадкой. Стоимость проживания в таком блоке будет ориентировочно от 7 000 до 11 000 рублей в год на человека, что посылно для молодых пар, еще не имеющих образования и способных обычно только подрабатывать. Но такой пример – скорее исключение, а не общая практика.

Надо сказать, что за рубежом студенты, которые были обручены и желают проживать вместе, также обычно могут получить от университета отдельную комнату.

Стоимость этого, например, в Великобритании, составляет от 12 000 \$ в год на человека, а в США - от 7 000 \$ до 24 000 \$ в год на человека в зависимости от размеров и комфортабельности помещений.

Таким образом, задача создания *специальных* комфортных и функциональных *блоков для студенческих семей* в общежитиях ВУЗов является актуальной.

Предлагается организация пространства семейного этажа в студенческом общежитии, учитывающая потребности молодой учащейся семьи с детьми (рис.).

Этаж планируется разделить на мини-блоки размерами 11,4 м на 5,9 м, каждый из которых предназначен для проживания двух студенческих семей, возможно, с детьми. Блок будет состоять из пяти комнат – двух жилых комнат, двух санузлов, кухни (рис.). Таким образом, относительно небольшая площадь будет обладать всем необходимым функционалом.

Первое помещение, в которое мы попадаем при входе в блок, - основная комната площадью 21 м<sup>2</sup>. В ней совмещаются гостиная, спальня и прихожая. С учетом этого предлагается следующая организация пространства такой комнаты. В противоположной от входа части комнаты располагается двуспальная кровать для супругов; напротив родительской кровати стоит детская кровать, чтобы было удобно следить за ребенком и ночью. К сожалению, в одной из двух комнат детскую кровать пришлось передвинуть (рис.), но все необходимые удобства сохранены. Для экономии пространства шкаф немного углублен в стену, что позволяет, например, без затруднений обойти играющего ребенка. С той же целью межкомнатные двери предусмотрены раздвижными, а это еще и уменьшает опасность травмирования для ребенка. Рабочий стол хорошо вписывается в угол; столик крепится к стене и как бы порхает в воздухе; за ним будет удобно выполнять домашние задания, сидеть за ноутбуком и т. п.

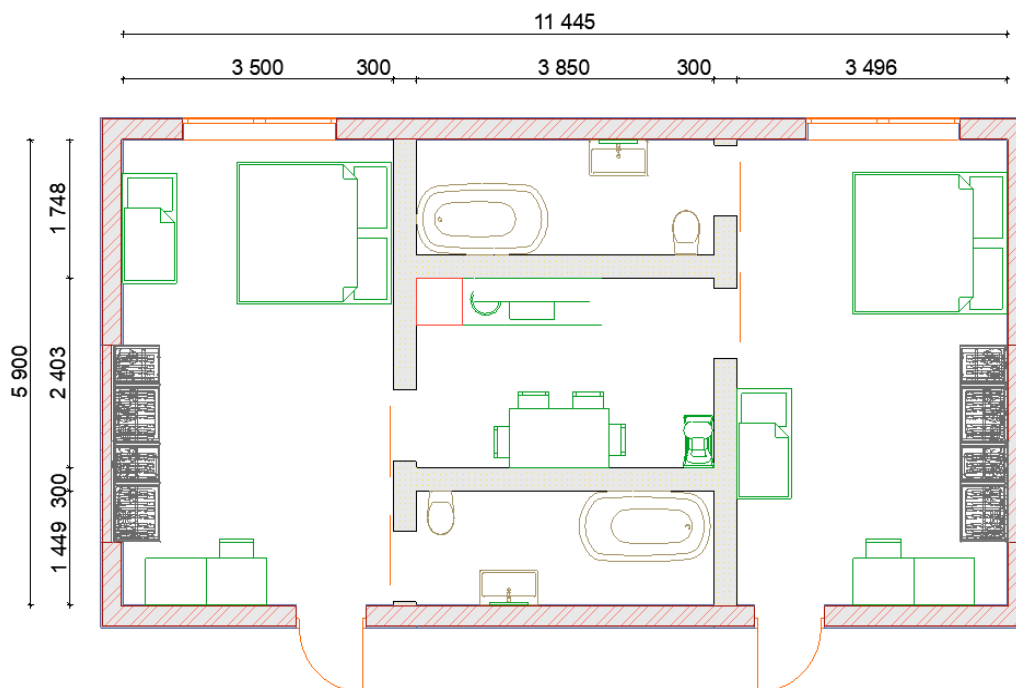


Рисунок. – План семейного блока в общежитии ВУЗа



В блоке предусмотрено по отдельному санузлу площадью 6,7 м<sup>2</sup> для каждой семьи. Это отличие от традиционного студенческого общежития, где одна ванная (душевая) приходится на несколько комнат, для семьи с ребенком является особенно важным, в том числе с точки зрения гигиены. Набор оборудования и мебели в санузле – стандартный: ванная, раковина, унитаз, зеркало.

Последнее помещение в блоке – кухня на две семьи площадью 9 м<sup>2</sup>. На такой территории две хозяйки поладят друг с другом, а возможно и приготовят что-то вкусное вместе. Здесь расположен обеденный стол на четыре персоны. Предусмотрено и детское место; при необходимости количество таких мест может быть увеличено до двух.

**Заключение.** Предлагаемая организация пространства семейного этажа в студенческом общежитии учитывает потребности проживающих как студентов, как семьи, как родителей. Создание таких специальных комфортных и функциональных блоков для студенческих семей будет способствовать не только укреплению и увеличению количества студенческих семей с детьми, но и повышению студенческой успеваемости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Общежития и хостелы. Правила проектирования: СП 379.1325800.2018. – Введ. 06.12. 18. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
2. Проектирование высших учебных заведений и институтов повышения квалификации / Государственный научно-проектный институт учебно-воспитательных, торгово-бытовых и досуговых зданий. - Москва: Стройиздат, 1992. –315 с. ISBN 5-274-01570-0
3. Веселкина, М. В. Особенности проектирования студенческих городков и общежитий // В мире науки и искусства: вопросы филологии, искусствоведения и культурологии: сб. ст. по матер. LIX междунар. науч.-практ. конф. №4 (59). – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 11-16
4. Красильникова, А. Д. К вопросу проектирования среды университетского кампуса [Электронный ресурс] // Молодежный научный форум. Технические и математические науки: электр. сб. ст. по матер. XXXIX междунар. студ. науч.-практ. конф. – 2016. – № 10(39). – Режим доступа: URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/10\(39\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/10(39).pdf). – Дата доступа: 15.11.2019.
5. Боровкова, А. А. Основная проблематика и тенденции формирования студенческого жилья. Объемно-планировочное решение студенческих общежитий Полоцкого государственного университета // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 8. – С. 18-23

УДК 721.011.85:721.058.2

## АКТУАЛЬНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ АДАПТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ИНДУСТРИАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА К РЕКОНСТРУКЦИИ

**А.В. Захаренко**

Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С., Минск, Республика Беларусь  
e-mail: zaharencona@mail.ru

*В работе обоснована актуальность внедрения так называемых адаптивных решений при проектировании новых жилых зданий индустриального строительства, что в будущем позволит проводить необходимые мероприятия по их реконструкции с наименьшими затратами ресурсов и наименьшим количеством вырабатываемых строительных отходов. Представлены основные принципы создания жилых зданий с высоким адаптивным потенциалом в условиях отечественного жилищного домостроения.*

**Ключевые слова:** *жилое здание, индустриальное домостроение, адаптивность, потребительские качества, реконструкция.*

## RELEVANCE OF INCREASING ADAPTIVITY OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF INDUSTRIAL CONSTRUCTION TO RECONSTRUCTION

**A. Zakharenko**

Institute of Housing - NIPTIS named after Atayev S.S., Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: zaharencona@mail.ru

*The relevance of the introduction of the so-called adaptive solutions in the design of new residential buildings of industrial construction is substantiated in the work, which in the future will make it possible to carry out the necessary measures for their reconstruction with the least expenditure of resources and the least amount of generated construction waste. The basic principles of creating residential buildings with high adaptive potential in the conditions of domestic housing construction are presented.*

**Keywords:** *residential building, industrial housing construction, adaptability, consumer qualities, reconstruction.*

**Введение.** Вопросы необходимости оптимизации процесса эксплуатации жилых зданий с учетом их неизбежного физического износа и моральной деградации стали рассматриваться еще в советский период. Наиболее интересны подходы, касающиеся устранения именно моральной деградации. Так, например, исследования, проведенные известным советским архитектором А.И. Гюль-Ахмедовым в 80-х гг. прошлого столетия, были направлены именно на оптимизацию эксплуатации жилья в процессе его морального устаревания [1], в основу которого, как правило, был положен демографический аспект, т.е. несоответствие между составом семьи, который видоизменяется

с течением времени, и существующими объемно-планировочными характеристиками жилых зданий.

В настоящее время вопросу целесообразности учета фактора предстоящего переустройства здания под новые требования в будущие периоды постепенно уделяется все большее внимание как в отечественной практике, так и за рубежом. В первую очередь это связано с опытом переустройства существующих жилых зданий, как в рамках проведения капитального ремонта, так и непосредственно в процессе модернизации и реконструкции. Выявленная значительная ресурсоемкость данных процессов, а также установленная невыполнимость некоторых условий обеспечения современных требований, обусловили целесообразность учета так называемого *критерия адаптивности* зданий на этапе их проектирования. Если рассматривать современные российские исследования данного вопроса, то можно отметить работу [2], в которой изучены общие подходы повышения адаптивности жилых зданий. В качестве основной проблемы в данном случае принимается «соответствие параметров жилища постоянно меняющимся потребностям обитателя как на этапе проектирования и строительства, так и в процессе эксплуатации жилища». Решение данной проблемы предлагается путем применения гибких объемно-пространственных конструктивных структур, адаптируемых во времени, а также при помощи разработки приемов и средств, предоставляющих возможность обитателю обустроить собственное жилище, поэтапно расширять и трансформировать его в зависимости от изменений в образе жизни, составе семьи или внесения новых функций в жилое пространство.

Актуальность применения в здании различных проектных решений, позволяющих в будущем их реконструировать с наименьшими ресурсозатратами, объясняется также обеспечением высокого уровня контроля процессов переустройства зданий, что исключит несанкционированные внутренние перепланировки, надстройки, искажения архитектурного облика здания и т.п. В общем случае согласно исследованиям [2] адаптируемое жилище представляет собой «архитектурное пространство, обладающее возможностями приспособления к меняющимся потребностям обитателя, а также условиям окружающей среды с целью сохранения или достижения оптимального соответствия этого пространства процессу жизнедеятельности обитателя». Отдельное внимание в исследованиях российских ученых уделяется внедрению открытых и гибких конструктивно-технологических систем жилых зданий. Так, например, согласно принятым методическим рекомендациям [3] в основу гибкости здания положена так называемая «трансформативная» архитектура, под которой понимаются архитектурные решения, предусматривающие возможность динамического изменения объемно-планировочных характеристик помещений и здания в целом, с учетом погодных условий и функциональных потребностей. Предложенная в данных рекомендациях система «широкий шаг» представлена в нескольких вариантах: поперечно-стеновой, продольно-стеновой, перекрестно-стеновой конструктивной системе, а также в каркасной системе с продольным, поперечным и смешанным расположением ригелей. Благодаря использованию «широкого шага» в расположении несущих конструкций удается формировать свободные помещения, площадью 50–60 м<sup>2</sup> (в случае с поперечным шагом) и площадью 100–800 м<sup>2</sup> (в случае с продольными несущими стенами), которые в дальнейшем возможно разбивать на помещения меньшей площади.

Особое внимание вопросам повышения адаптивного потенциала зданий различного типа в настоящее время уделяется в зарубежной практике. Так, например, можно отметить исследования [4–6], направленные на продвижение и ускорение устойчивого строительства. В общем случае целью данных исследований стала разработка методики оценки адаптивного потенциала зданий, включающей технические, функциональные, экономические и социальные аспекты. С целью обеспечения адаптивности существующих зданий и сооружений предлагается рассматривать следующие три аспекта адаптивности: *организационную гибкость*, обуславливающую гибкость организации (строительной или эксплуатирующей то или иное здание), *гибкость процесса* (проектирования, строительства, эксплуатации), а также непосредственно *гибкость объекта*, которая позволяет реагировать на изменяющиеся обстоятельства, пожелания или требования на этапе использования здания без сложных и дорогостоящих технических вмешательств. Следует также отметить, что одной из сопутствующих важных причин актуальности повышения адаптивности зданий к переустройству согласно данным исследованиям является снижение вырабатываемых строительных отходов и мусора, которые, безусловно, образуются в процессе ремонтно-восстановительных работ.

**Основная часть.** Интерес к повышению адаптивного потенциала жилых зданий в нашей стране возник относительно недавно и, преимущественно, связан с выявленной значительной ресурсоемкостью процесса реконструкции жилых зданий 60–80-х гг. строительства, в котором можно выделить следующие ключевые проблемы: высокая трудоемкость проведения ремонтно-реконструктивных мероприятий; отсутствие возможности (или высокая трудоемкость) изменения объемно-планировочных решений квартир; отсутствие резервов в инженерных системах, необходимых для обеспечения необходимого уровня комфорта и санитарных норм проживания; отсутствие возможности включения в систему энергоснабжения возобновляемых и вторичных источников энергии; недостаточные звукоизолирующие свойства; архитектурную невыразительность, угнетающе действующую на жителей и пр. Отмеченные обстоятельства свидетельствуют о необходимости при разработке новых конструктивно-технологических систем жилых зданий предусматривать такие решения, которые позволяли бы в будущие периоды, при необходимости проводить их переустройство с минимальной трудоемкостью и стоимостью для придания жилью новых потребительских качеств. Одним из ключевых факторов необходимости учета возможности переустройства жилья в будущем является также достаточно продолжительный срок эксплуатации зданий с точки зрения наступления их полного физического износа (не менее 100–150 лет), в связи с чем недопустимо, чтобы большую часть этого периода оно считалось морально устаревшим и непригодным для комфортного проживания.

На основании выявленных тенденций изменения потребительских качеств жилых зданий (объемно-планировочное решение, ремонтпригодность, энергоэффективность, санитарно-гигиеническое благополучие, архитектурная выразительность) [7–9] можно выделить следующие основные принципы создания адаптивных решений жилых зданий.

1. *Принцип гибкости объемно-планировочного решения* – заключается в создании свободной к преобразованию объемно-планировочной структуры. Основным

критерием соответствия данному требованию является выбор конструктивной схемы, в которой несущие элементы занимают наименьшее пространство и расположены с максимально возможным шагом. К основным конструктивно-технологическим системам современного крупнопанельного домостроения, отвечающим данному требованию можно отнести:

1) систему с продольными несущими стенами – характеризуется тем, что свободным к преобразованию служит пространство между наружными и внутренними продольными стенами, расстояние между которыми составляет не менее 6,0 м;

2) систему с неполным внутренним каркасом – пример наиболее эффективной структуры несущего остова здания, при которой внутренние несущие конструкции (колонны) занимают минимальные площади внутреннего пространства; в данном случае появляется возможность создания свободной планировочной структуры не только отдельной квартиры, но и целой секции;

3) систему с широким шагом внутренних поперечных стен – представляет собой вариант одновременной гибкости внутреннего объемно-планировочного пространства, а также гибкости видоизменения габаритов здания в целом, например, за счет пристройки дополнительных объемов со стороны наружных продольных стен зданий. Необходимо также отметить, что по сравнению с вариантом с продольными несущими стенами данный вариант с поперечными несущими стенами наиболее эффективен в части удобства соблюдения требований ориентации помещений по сторонам света.

Таким образом, ключевое значение в выполнении требований гибкости объемно-планировочных решений имеет соответствующее расположение основных несущих конструкций. Среди сопутствующих второстепенных факторов обеспечения данного требования можно выделить следующее:

- эффективное расположение проемов в ограждающих конструкциях;
- использование в качестве разделительных элементов внутреннего пространства легко демонтируемых, либо быстросъемных конструкций;
- применение в качестве наружных стен самонесущих и навесных конструкций;
- использование для подоконных участков стен легко демонтируемых материалов;
- регламентирование стационарных мест расположения «мокрых» помещений;
- применение электрических кухонных плит;
- применение блоков инженерных систем заводского изготовления.

2. *Принцип использования быстросъемных соединений для элементов наиболее подверженных физическому износу* – замена сварных соединений на быстросъемные (в частности, болтовые) может, например, значительно повысить эффективность демонтажа старых и установки новых фасадных элементов и т.п.

3. *Принцип автономности и возможности наращивания функций инженерно-технических систем здания.* Как показывает отечественный и зарубежный опыт эксплуатации жилых зданий наиболее эффективным способом учета потребляемых зданиями ресурсов является их индивидуальный учет по каждому из домохозяйств (жилой квартире). В связи с этим как в новых, так и в реконструируемых жилых зданиях стали

внедряться определенные мероприятия по индивидуальному учету ресурсов, например, использование отопительных систем с горизонтальной разводкой теплоносителя по квартирам, внедрение поквартирных систем рекуперации тепла, установка приборов учета и т.п. Необходимо отметить, что в зданиях старой постройки процесс внедрения подобных мероприятий затруднен. В целом существующие современные базовые принципы инженерно-технического обеспечения новых жилых зданий такими системами как водопровод, канализация, отопление и вентиляция, электроснабжение и др. полностью соответствуют основам создания автономных систем для каждого домохозяйства. При этом необходимо учитывать, что отдельные системы жизнеобеспечения здания с течением времени требуют увеличения мощности, как, например, система электроснабжения (за счет увеличения номенклатуры эксплуатируемой бытовой техники и пр.). В условиях возможного экономически эффективного использования электрической энергии в будущие периоды необходимо также предусматривать возможность перевода всех источников потребления газа в жилых зданиях (кухонные плиты, отопительные котлы и т.п.) на электропитание и т.п.

4. *Принцип повышения энергетической эффективности здания.* Новые проектируемые здания должны быть приспособлены к повышению уровня энергоэффективности эксплуатации, в т.ч. за счет повышения термического сопротивления конструкций, модернизации инженерно-технических систем, а также использования альтернативных источников энергии.

5. *Принцип улучшения санитарно-гигиенического состояния помещений.* Реализация данного принципа может базироваться на таких потребительских качествах, которые в настоящее время не удовлетворяют потребителя, например, звукоизоляция жилых помещений. В частности, с целью увеличения звукоизолирующей способности, возможно, целесообразно принимать такую высоту этажа, которая в будущие периоды позволит обеспечивать изменение конструкции пола.

6. *Принцип придания архитектурной выразительности и современности внешнему облику зданий.* Опыт советского периода свидетельствует о том, что стремление удешевить стоимость жилого здания не позволяло применять в наружной отделке качественные и наиболее долговечные материалы. Так, например, использование в отделке мелких керамических плиток показало не только их недолговечность, но и низкую адаптивность к восстановлению: с течением времени, в процессе эксплуатации здания подобные мелкие элементы часто отваливались, а их ремонт заключался в простой заделке цементным раствором отколовшихся участков, что, безусловно, ухудшало внешний облик здания. Следует также отметить, что в последнее время важное значение приобретают архитектурные решения по оформлению зон расположения систем, регулирующих микроклимат в жилых помещениях (системы кондиционирования воздуха на фасаде здания) и пр.

В целом можно отметить, что даже частичное использование перечисленных принципов позволит значительно упростить процесс эффективной эксплуатации жилых зданий с течением времени. Важно отметить, что при переустройстве жилья в любом случае необходимо соблюдать нормативные санитарно-гигиенические требования в пределах жилой ячейки и жилой секции в целом, в т.ч. акустический комфорт

в помещении, качество воздушной среды, необходимую продолжительность инсоляции, минимальные трансмиссионные теплопотери через оболочку здания, минимальный уровень антропогенной нагрузки и пр.

Следует отметить, что в мировой практике уже существуют достаточно удачные примеры реализации жилых домов с высоким адаптивным потенциалом, который действительно используется их жителями в процессе усовершенствования и переустройства своего жилья под новые требования. Можно, например, отметить, экспериментальный 18-квартирный жилой комплекс «Next21», построенный в г. Осака (Япония) ещё в 1994 г. (рисунок, а), конструктивная система которого представляет собой железобетонный каркас, в который встроены блоки различной объемно-планировочной структуры, которые могут независимо ремонтироваться, модернизироваться и заменяться. Принятая высота этажа позволила расположить все инженерно-технические системы в конструкции пола или подвесного потолка. В целом рассматриваемое здание представляет собой открытую гибкую «двухступенчатую систему», в которой основные несущие элементы (колонны, балки, плиты перекрытия) принимаются как долговечные несменяемые элементы, а такие конструкции, как наружные стены, перегородки, санитарно-технические узлы, а также зоны зеленых насаждений могут изменяться с течением времени.



а



б



в



г

**а – жилой комплекс «Next21» (Осака, Япония); б – жилой комплекс «Хабитат 67» (Монреаль, Канада); в – жилой квартал «Quinta Monroy» (Икике, Чили) после окончания строительства; г – то же, что и в п. в в процессе эксплуатации**

**Рисунок. – Примеры существующих жилых зданий, в которых предусмотрены адаптивные решения к будущему переустройству**

Интересен также проект жилого комплекса «Хабитат 67» (рисунок, б), построенный в Монреале в 1967 г. Основу конструктива здания составляют сборные объемные железобетонные блоки (346 блоков), установленные в хаотичном порядке друг на друга. Адаптивность данного комплекса заключается в возможности «разрастания» здания, а также заполнения имеющихся пространств между блоками. Интересен реализованный проект адаптивного жилого квартала «QuintaMonroy», построенного в Чили в 2004 году. Основной целью при его проектировании являлось расселение более чем 100 семей, проживающих в хаотической застройке на рассматриваемой территории города. Ограниченный бюджет позволил запроектировать и возвести лишь элементарные прямоугольные блоки (рисунок, в), которые в последствие предполагалось обстраивать, что и происходило с течением времени (рисунок, г).

**Заключение.** Очевидно, что принцип адаптивности зданий должен быть внедрен и в отечественную практику, что позволит, во-первых, обновлять здания по ключевым показателям потребительских качеств по мере необходимости, в частности, появится возможность приводить основные объемно-планировочные характеристики к требуемым показателям (за счет наличия в так называемых гибких конструктивно-технологических системах значительных по площади участков, свободных от несущих элементов); во-вторых, снизится ресурсоемкость подобных процессов переустройства, что позволит значительно улучшить организацию и финансирование ремонтно-восстановительных работ. Таким образом, благодаря внедрению подобных адаптивных решений удастся повысить эксплуатационные качества жилья, что позволит ему удерживать достаточно высокую рыночную стоимость и быть привлекательным для различных категорий населения на протяжении всего срока службы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гюль-Ахмедов, А. И. Жилые дома с гибкой структурой квартир: автореф. дис. ... канд. архитектуры: 18.00.02 / А. И. Гюль-Ахмедов. – М., 1983. – 26 с.
2. Анисимов, Л. Ю. Принципы формирования архитектуры адаптируемого жилища: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры: 18.00.02 / Л. Ю. Анисимов; Моск. архитектур. ин-т. – М., 2009. – 30 с.
3. Проектирование жилых многоквартирных зданий с широким шагом несущих конструкций, обеспечивающих свободную планировку : методическое пособие / ЗАО «ПРОМТРАНСНИИ-ПРОЕКТ», АО «ЦНИИЭП жилища»; сост.: Л.А. Андреева [и др.]. – М., 2017. – 106 с.
4. Geraedts, R. Adaptive capacity of buildings: a determination method to promote flexible and sustainable construction [Electronic resource] / R. Geraedts [et al.] // International Union of Architects World Congress UIA2014, Durban SA, August 2014. – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/264360913\\_ADAPTIVE\\_CAPACITY\\_OF\\_BUILDINGS\\_A\\_determination\\_method\\_to\\_promote\\_flexible\\_and\\_sustainable\\_construction](https://www.researchgate.net/publication/264360913_ADAPTIVE_CAPACITY_OF_BUILDINGS_A_determination_method_to_promote_flexible_and_sustainable_construction). – Date of access: 24.10.2019.
5. Geraedts, R. A Business Case for Flexible Housing: The Feasibility of Implementing Flexibility Measures in the Housing Market [Electronic resource] / R. Geraedts, J. Ruiterkamp // Journal of Civil Engineering and Architecture. – 2017. – № 11. – pp. 961–970. – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/322989217\\_A\\_Business\\_Case\\_for\\_Flexible\\_Housing\\_T](https://www.researchgate.net/publication/322989217_A_Business_Case_for_Flexible_Housing_T)



- he\_Feasibility\_of\_Implementing\_Flexibility\_Measures\_in\_the\_Housing\_Market. – Date of access: 24.10.2019.
6. Geraedts, R. Adaptability [Electronic resource] / R. Geraedts, N. O.E. Olsson, G. Karsten Hansen // Facilities Management and Corporate Real Estate Management as Value Drivers. How to manage and measure adding value / P. A. Jensen, T. Van der Voordt. – London/New York, 2016. – pp. 159–183. – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/309391502\\_Adaptability](https://www.researchgate.net/publication/309391502_Adaptability). – Date of access: 24.10.2019.
  7. Пилипенко, В. М. Тенденции изменения потребительских качеств в индустриальном домостроении. Часть 1. Объемно-планировочное решение. Долговечность. Ремонтопригодность / В. М. Пилипенко, А. В. Захаренко // Архитектура и строительство. – 2017. – № 1. – С. 12–18.
  8. Пилипенко, В. М. Тенденции изменения потребительских качеств в индустриальном домостроении. Часть 2. Санитарно-гигиеническое благополучие внутренней жилой среды. Ресурсоемкость инженерно-технических систем / В. М. Пилипенко, А. В. Захаренко // Архитектура и строительство. – 2017. – № 2. – С. 16–21.
  9. Пилипенко, В. М. Тенденции изменения потребительских качеств в индустриальном домостроении. Часть 3. Архитектурная выразительность. Стоимость строительства / В. М. Пилипенко, А. В. Захаренко // Архитектура и строительство. – 2017. – № 3. – С. 58–63.

УДК 712.3

**ГАНЗА В КОНТЕКСТЕ РЕГЕНЕРАЦИИ ВЕРХНЕГО ЗАМКА В ПОЛОЦКЕ****Р.М. Платонова<sup>1</sup>, В.Г. Лукьяненко<sup>2</sup>**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

E-mail: r.platonowa@psu.by<sup>1</sup>, v.lukyanenka@psu.by<sup>2</sup>

*Представлен анализ истории создания Ганзейского союза в средние века, его торговые связи с Полоцком. Даны проектные предложения по регенерации Восточного (ганзейского) склона на Верхнем Замке города, как важного исторического объекта, который привлечет большее количество туристов и увеличит его экспозиционные возможности.*

**Ключевые слова:** Ганзейский союз, торговля, ганзейский склон, Верхний замок, туризм.

**HANSA IN THE CONTEXT OF REGENERATION OF THE UPPER CASTLE IN POLOTSK****R. Platonova<sup>1</sup>, V. Lukyanenko<sup>2</sup>**

Polotsk state university, Republic of Belarus

E-mail: r.platonowa@psu.by<sup>1</sup>, v.lukyanenka@psu.by<sup>2</sup>

*This article presents an analysis of the history of the Hanseatic League in the middle ages, its trade relations with Polotsk. Project proposals are given for the regeneration of the Eastern (Hanseatic) slope on the Upper Castle of the city, as an important historical site that will attract more tourists and increase its exhibition opportunities.*

**Keywords:** Hanseatic League, trade, Hanseatic slope, Upper castle, tourism.

**Введение.** В Средние века европейские государства были раздробленными. Вести торговлю между ними было очень рискованным делом. На торговых маршрутах встречались пираты и разбойники, а довозенные до торговых прилавков товары, облагались местными правителями высокими налогами. Не было единых правил торговли и каждый мог поживиться за счет купцов. Поэтому ответной реакцией европейских купцов было создание Ганзейского союза в XII веке с центром в г. Любек - политическое и экономическое братство городов, находящихся на побережье Балтийского и Северного морей (либо на реках, недалеко от места впадения их в море). Это были торговые города с преимущественно немецким населением или с сильным немецким лобби в местном самоуправлении. На древненемецком языке **Hansa** – буквально «группа», «союз», латинском – **Hansa Teutonica**. Союз просуществовал до середины XVII века [1]. В него входило около 225 городов, из них - около 100 портовых, а под его влиянием находилось примерно 3000 населённых пунктов. Цель объединения – обеспечение участникам союза привилегий в районе ганзейской торговли. Опорой ганзей-

ских купцов служили рыцарские ордена. Ганза вела самостоятельную внешнюю политику, приобретала крепости, поддерживала господствующую власть. Участники объединения следовали **Большому Ганзейскому статуту**, изданному для всего союза. Система торговых отношений опиралась на конторы. Иностранные конторы Ганзы находились в Брюгге, Бергене, Новгород, Лондоне и других городах [2-3]. Конторы создавали условия для совершения сделок, следили за соблюдением законов и ганзейских привилегий, обеспечивали безопасность купцов и даже предоставляли им кров. Они располагали постоянными дворами, торговыми рядами, складами, пивоварнями, помещениями для больных, тюрьмами, церквями и даже кладбищами. Были у этих своеобразных «государств в государствах» свои суды, канцелярии, подобия банков и архивы. Кроме того, существовало множество филиалов – факторий и торговых постов, разбросанных на огромном пространстве от Португалии до Норвегии и от Исландии до России. Нередко они имели большое влияние на целые государства.

С развитием мануфактурной промышленности постепенно значение ганзейского союза начинает ослабевать и к середине XVII в. влияние Ганзы в сфере морской торговли начинает уменьшаться. С большим трудом удается в 1669 г. собрать последний съезд (ганзентаг) делегаты, которого не смогли договориться. Это мероприятие поставило крест на Ганзейском союзе: купцы после него предпочли вести свои дела самостоятельно.

**Основная часть.** Одним из городов Беларуси, в котором находилась контора ганзейского союза, был город Полоцк. На рисунке 1 показаны крупнейшие торговые пути Ганзы в XII—XV вв., которые указывают на ее связь с Полоцком [4].

Полоцк – один из самых древних городов Беларуси и Восточной Европы. Первое летописное упоминание о Полоцке относится к 862 году. Хотя археологические раскопки указывают на то, что Полоцк старше на 70-80 лет [5-6]. В середине X века возникло Полоцкое княжество. Оно занимало территорию в бассейне Западной Двины, верховьях Березины и Немана. Полоцкое княжество являлось фактически независимым от Древнерусского государства.

Полоцк был построен при впадении реки Полоты в Двину. Двина составляла главный путь международных сношений. По Двине ходили к морю и в Готланд, а скандинавы – на славянский восток. В 1210 году орденский брат Арнольд с делегацией был послан к полоцкому князю, чтобы заключить прочный мир и открыть купцам вольную дорогу в полоцкие владения.

Управление сношениями с Полоцком находилось всецело в руках Риги. Правда, что договор 1229 года заключен был и от имени готландского немецкого купечества и полоцкая колония всегда причислялась к конторам Готланда и впоследствии к премнице их – Ганзе. Все, пользовавшиеся правом немецкого купца, имели свободный доступ в Полоцк. Основные законы ганзейского союза имели силу также и в Полоцке. Единственным владельцем, с которым Рига разделяла свою власть в отношении к конторам, был ливонский магистр. Например, в древнейших торговых правилах конторы находится в заголовке не только имя Риги, но и магистра ордена: «Такова воля ливонского магистра и города Риги».

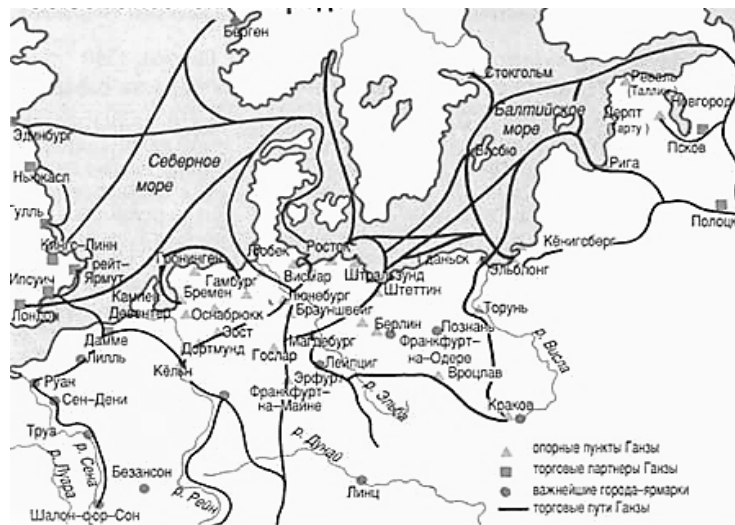


Рисунок 1. – Ганзейские города и крупнейшие торговые пути

Опираясь на могущество ордена и поддерживаемое влиянием Риги, немецкое купечество приобрело себе в Полоцке чрезвычайно самостоятельное положение. Немецкие товары в Полоцке выгружались на берег особыми местными носильщиками и складывались или по дворам, или в церкви. Основными привозными товарами были: соль, фландрские и английские шерстяные изделия, голландские и вестфальские полотна, металлы (железо, медь, олово и свинец), сельдь, вино, пиво и пряные корни. Полоцкие торговцы вывозили: воск, который при католическом богослужении находил обширный сбыт, меха, шкуры, кожу, сало, золу и деготь, а позднее – пеньку и лен. Из-за небольшого количества в обращении благородных металлов и монет до самого XV столетия, внутренняя торговля основывалась на простой мене. Секретом ганзейского процветания была дешевизна массовых перевозок [7].

В начале XVI столетия русско-литовские войны нанесли сильный удар городу Полоцку и отняли у немецких торговцев охоту отправлять свои товары в этот город. 20 июля 1511 г. король Сигизмунд даровал Полоцку привилегии, отнимавшие у немецкой колонии ее существенный выгоды и потерявшие основания ее существования. Немцам запрещен был доступ в Витебск и Смоленск, и торговля их ограничена Полоцком; тут они должны были торговать лишь с горожанами, а не с гостями и не с приезжими — да и то лишь оптом.

Последний удар был нанесен в начале XVI столетия новою торговою политикою ливонцев. С изданием закона о том, что гость не может торговать с гостем, был отнят доступ к торговле всем другим ганзейским городам. Следствием такого поворота в воззрениях, полоцкая контора непременно должна была погибнуть и после долгих перепитий, прекратила свое существование [7].

Новый Ганзейский союз был воссоздан вновь в 1980 году, когда в Голландии отмечали 700-летие со дня основания союза. Штаб-квартира союза в настоящее время расположена в немецком городе Любек. Основная цель — сохранение общего духа и образа жизни, внесение вклада в экономическое, социально-культурное

и политическое развитие ганзейских городов. В составе Ганзейского союза Нового времени сейчас входят около 175 городов.

В июне 2009 года город Полоцк стал членом Нового Ганзейского союза, так как делегаты XXIX Ганзейских дней Нового времени, проходивших в Великом Новгороде, проголосовали за его прием наряду с городами Гронинген и Стиксисхольмур. Это связано с тем, что по уставу союза, вступить в Ганзейский союз Нового времени имеет право только тот город, который был в составе Ганзейского союза в Средневековье или имел прочные связи со средневековой Ганзой. Специальная комиссия в Любеке проверяет причастность каждого города-претендента к средневековому Ганзейскому союзу [8]. Это решение дало новый импульс росту престижа Полоцка в европейском пространстве и налаживанию международных связей как в сфере туризма, так и в бизнесе.

После принятия Полоцка в Ганзейский союз Нового времени, Полоцким городским советом депутатов в 2010 году рассматривался вопрос о создании в Полоцке исторического центра и возможного создания Полоцкого посада, с размещением на территории Верхнего Замка (сакрального центра Полоцка) – студенческого городка Полоцкого государственного университета [9].

С этой целью в 2010 году была разработана концепция регенерации Верхнего Замка в г. Полоцке под руководством Дука Д.В. (краткая историческая часть) и Лукьяненко В.Г. (архитектурно-художественное решение). Проектное предложение по регенерации представлено на рисунке 2.



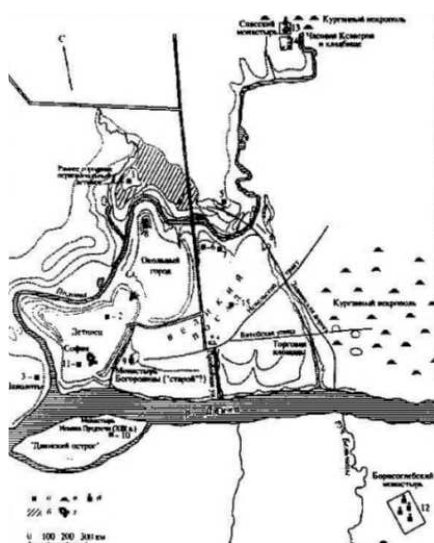
**1 – Софийский собор; 2 – здание духовной семинарии; 3 – корпус 6;  
4 – храм Архангела Михаила; 5 – корпус 5; 6 – корпус 4; 7 – корпус 3; 8 – корпус 2; 9 – корпус 1;  
10 – княжеские палаты; 11 – сторожевая башня; 12 – княжеская башня; 13 – здание посада;  
14 – смотровая площадка «Центр Европы»; 15 – Ганзейский склон**

**Рисунок 2. – Проектное предложение по регенерации Верхнего Замка**

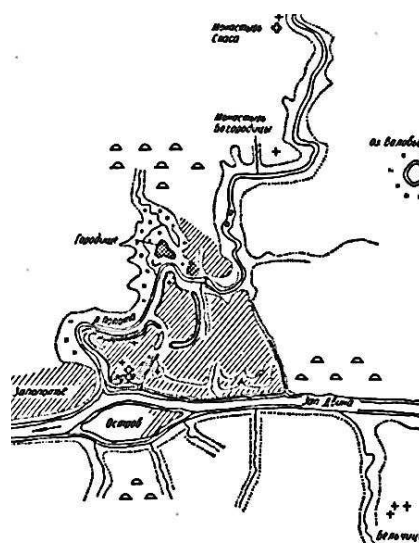
В концепции рассматривается вся территория Верхнего Замка как единая историко-культурная структура, включающая в себя туристические и образовательные зоны.

В 2019 году начались работы по размещению в части корпусов бывшей больницы Государственного учреждения образования «Полоцкое кадетское училище». Проектную документацию разрабатывал «Витебскгражданпроект».

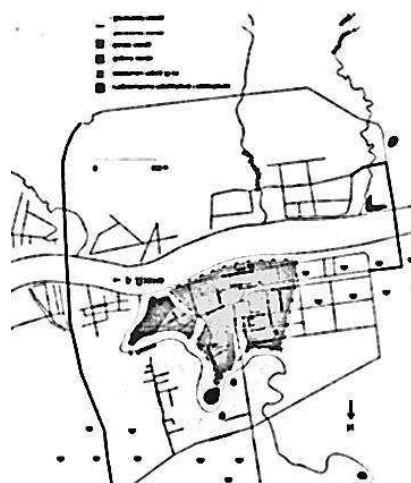
В данной статье мы более подробно рассмотрим возможность использования Восточного склона Верхнего Замка как историко туристического объекта, раскрывающего ганзейскую составляющую Полоцкой Земли. Для этого обратимся к планам древнего Полоцка IX-XIII вв. по Алексееву Л.В. (рис.3, а), Штыхову Г.В. (рис.3, б) и Дуку Д.В. (рис.3, в) [6, 10-13].



а



б



в

а – по Л.В. Алексееву; б – по Г.В. Штыхову; в – по Д.В. Дуку

Рисунок 3. –Планы исторической части древнего Полоцка IX–XIII вв.

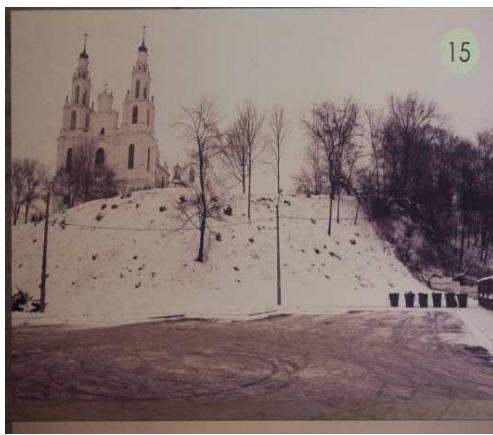
На планах нас интересует восточный склон Верхнего Замка с прилегающей территорией. По ним видно, что вдоль всего восточного склона протекал ручей, который впадал в реку Западная Двина. Характер поймы ручья даже на сегодняшний день легко прослеживается. Если мы учтем тот факт, что лесные массивы вдоль реки Западная Двина в XIII-XV веках не были подвержены столь интенсивной вырубке, как в наши дни, а зимы были более снежными, мы можем сделать вывод что среднегодовой уровень реки был гораздо выше. Соответственно ручей вдоль восточного склона представлял собой вытянутый пойменный залив, на северо-восточной части которого находится родник. В данную естественную заводь заходили ганзейские суда с товаром, который поднимался по восточному склону на территорию Верхнего замка.

Стоит отметить, что не всегда памятникам архитектуры и градостроительства, а также историческому ландшафту можно вернуть прежнюю функцию, как и в нашем случае. Однако регенерировать и переустраивать Верхний Замок и его отдельные зоны просто необходимо. Такой подход к историко-культурным ценностям позволит привлечь инвестиции и будет стимулировать местный туристический бизнес. Даст новые рабочие места строителям, культурологам, историкам и сфере обслуживания.

Строительные работы должны начаться только после масштабных раскопок и выявления рельефа местности на уровне XIII-XVI веков, раскопки должны быть проведены и в пойменной части, прилегающей к склону. Данная стратегия позволит: А – выявить исторический рельеф; Б – вполне возможно найти технологические артефакты подъема по склону грузов, В – корректно произвести нулевой цикл строительных работ без хаотического разрушения культурного слоя.

Заполнение некогда естественной заводьи может производиться путем создания искусственного водоема в параметрах, приближенных к историческим либо в контексте развития энергетической политики Республики Беларусь – строительства Верхнедвинской ГЭС, что приведет к повышению общего среднегодового уровня реки Западная Двина на отрезке Верхнедвинск – Полоцк. На самом восточном склоне предполагается создать несколько террас связанных между собой вертикальными лестницами, которые выведут туристов и просто горожан на плато Верхнего замка, где планируется воссоздание княжеской башни. Здесь могут быть размещены творческие мастерские архитектурного и исторического профилей. Работы необходимо выполнять по строительным технологиям соответствующим историческому времени. Данное требование позволит создать производственно-лабораторные мастерские исторической реконструкции, в том числе и строительных материалов. Общий вид и разрез склона представлен на рисунке 4.

Ситуация с регенерацией Восточного (ганзейского) склона Верхнего замка в Полоцке, чем-то напоминает нам историю ганзейского г. Брюгге. Поль Моррен в статье «Жемчужина Фландрии» писал: «Сегодня благодаря экономическому подъему, и притоку туристов. Брюгге переживает свое второе рождение. Он ревностно оберегает свой средневековый облик и единство архитектурного ансамбля» [14].



а



б

а – общий вид; б – разрез

Рисунок 4. – Ганзейский склон Верхнего замка

**Выводы.** В заключение необходимо отметить, что активная политика городских властей в этом вопросе помогла бы Полоцку более полно возродить свое прошлое, привлечь туристов из Европы, что повлечет за собой создание торгово-логистических центров на «Полоцкой площадке». Сотрудничество с Новым Ганзейским Союзом позволит привлечь инвестиции из Западной Европы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Силкин, Б. Ганза: древний «общий рынок» Европы // Знание-сила : журнал / гл. ред. Г. А. Зеленко. – Москва: Международная ассоциация «Знание», 1998. - № 1 (847), С. 102-111.
2. Сокин, А. А. Ганзейский союз в отечественной историографии (постановка проблемы) // Якуб, А. В., Корзун, В. П. Исторический ежегодник, 2005: сборник статей / ред. колл. - Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2006, С. 58-63.
3. Никулина, Т. С. Очерки истории Ганзы / отв. ред. А. А. Сванидзе // Совет и бюргерство ганзейского города в реформации (по материалам Любека) : сб.- М : Наука, 2002. - Вып. 63: Средние века, С. 210-217.
4. Жарин, Д.В. Древние торговые пути на Беларуси и возможность их использования в сфере регионального туризма / Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы: материалы пятой международной научно-практической конференции, УО «Полесский государственный университет», г. Пинск, 28-29 апреля 2011 г.: в 2 ч. ч.2 / Национальный банк Республики Беларусь [и др.]; редкол.: К.К. Шебеко [и др.]. – Пинск: Полесгу, 2011. – С. 130-133.
5. Дук, Д.В. Полоцк-1150: Истоки государственности на белорусских землях // Родина. Российский исторический журнал. – 2012 - № 9 – С. 66–69.
6. Дук, Д.В. Заурядный городок, затаившийся в речных излуцинах? Новая концепция роли и места Полоцка в ранней древнерусской истории // Родина: исторический журнал. – 2013. - № 6, С. 47–49.
7. Герман Гильдебранд. Немецкая контора в Полоцке // Сборник материалов и статей по истории Прибалтийского края. Том II. Отделение I. Материалы и статьи по древней истории



- Прибалтийского края, III. Рига. 1879, С. 342—381 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://drevlit.ru/docs/livon/XIII/1260-1280/Gildebrandprede\\_997.php](http://drevlit.ru/docs/livon/XIII/1260-1280/Gildebrandprede_997.php) – Дата доступа: 10.12.2018.
8. Белорусский Полоцк вошел в состав Ганзейского союза Нового времени [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://regnum.ru/news/1177467.html>. – Дата доступа: 20.06.2009.
  9. Полоцкий Городской Совет Депутатов. Постоянная комиссия протокол №4 от 12.11.2010г.
  10. Алексеев, Л.В. Полоцкая земля (очерки истории северной Белоруссии) в 9-13 вв. - М.: Наука, 1966. - 308 с.
  11. Платонова, Р.М., Платонова, М.А. Градостроительство Полоцка в IX – XIII века // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2009. - №12, С.24-28.
  12. Платонова, Р.М., Платонова, М.А. Градостроительство Полоцка в IX – XIII века // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2009. - №12, С.24-28.
  13. Штыхов, Г.В. Древний Полоцк: IX–XIII вв. / Г.В. Штыхов. - Минск: Наука и техника, 1975. – 136 с.
  14. Моррен, Поль. Жемчужина Фландрии / Поль Моррен // Курьер Юнеско. – июль, 1984. – С. 19.

УДК 72.03(476.5)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНИРОВОЧНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ УСАДЬБЫ ГРЕБНИЦКИХ В Д. ОРЕХОВНО

*Г.И. Захаркина<sup>1</sup>, М.В. Кабаева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта, Минск

e-mail: gzakhrkina@yandex.by

*Рассмотрено современное состояние усадебно-парковой зоны усадьбы Гребницких в д. Ореховно. Приведены результаты натурных обследований территории, расположения зданий и зеленых насаждений. Предложен план организации предпроектных работ по восстановлению и адаптации усадьбы.*

**Ключевые слова:** *дворцово-усадебный комплекс, ландшафтная архитектура, пространство, парковый ансамбль, композиция, классицизм, методы восстановления, дендрология.*

### RESEARCH OF PLANNING FEATURES OF THE TERRITORY OF THE ESTATE GREBNITSKIKH IN THE VILLAGE OF OREKHOVNO

*G. Zakharkina<sup>1</sup>, M. Kabaeva<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Polotsk state University, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian state University of transport, Minsk

e-mail: gzakhrkina@yandex.by

*The modern state of the manor-Park zone of the Grebnitskih estate in the village of Orekhovno is considered. The results of field surveys of the territory, the location of buildings and green spaces are presented. The plan of the organization of pre-project works on restoration and adaptation of the estate is offered.*

**Keywords:** *Palace and manor complex, landscape architecture, Park ensemble, composition, classicism, restoration methods, dendrology.*

**Введение.** Значительные результаты в освоении историко-культурного прошлого Беларуси, касающиеся архитектурного наследия, были получены в 1960-1970 годы. За этот период в Витебской области было выявлено около 600 памятников архитектуры и 140 памятников культуры и истории, сохранившихся после ВОВ [1,2]. Усадебно-парковые комплексы 18-19 столетий в указанный период находились в достаточно хорошем состоянии и использовались под школы, санатории, дворцы пионеров, музеи и др. Ряд памятников архитектуры и в настоящее время привлекают внимание историков, краеведов, многочисленных туристов. Однако за прошедшие десятилетия некоторые памятники в период 1990 годов оказались выведены из эксплуатации, были сняты с баланса учреждений и, будучи брошенными, в очередной раз подверглись разграблению и разрушению. Причём, в некоторых случаях здания усадеб, сохранившиеся в годы ВОВ, оказались полностью разрушенными, превратились в руины.

Так, в Ушачском и Шумилинском районах, к сожалению, сохранились лишь несколько небольших церквей и костёлов. А усадебно-парковые комплексы представлены полуразрушенными зданиями, которые в большинстве своём, даже не подлежат восстановлению. В числе таких памятников историко-культурных ценностей оказались усадьбы братьев Гребницких в Оболи Шумилинского района и в Ореховно Ушачского района [3,4].

**Основная часть.** Объектом проведённого обследования является усадьба Гребницких, здание которой находится в Витебской области в пяти километрах от г. Ушачи, на южном берегу озера Ореховно. Поселение Ореховно упоминалось в исторических документах ВКЛ ещё в 1554 году [5]. В течение последующих трех столетий поместье переходило к разным владельцам, и архитектурный облик усадьбы периодически менялся. На длинном пути своего существования усадьба в Ореховно, как и все исторические усадьбы, сохранившиеся на территории современной Беларуси, подверглась перепланировке хозяйственных зон, парковых насаждений, перестройке жилых зданий и служебных построек.

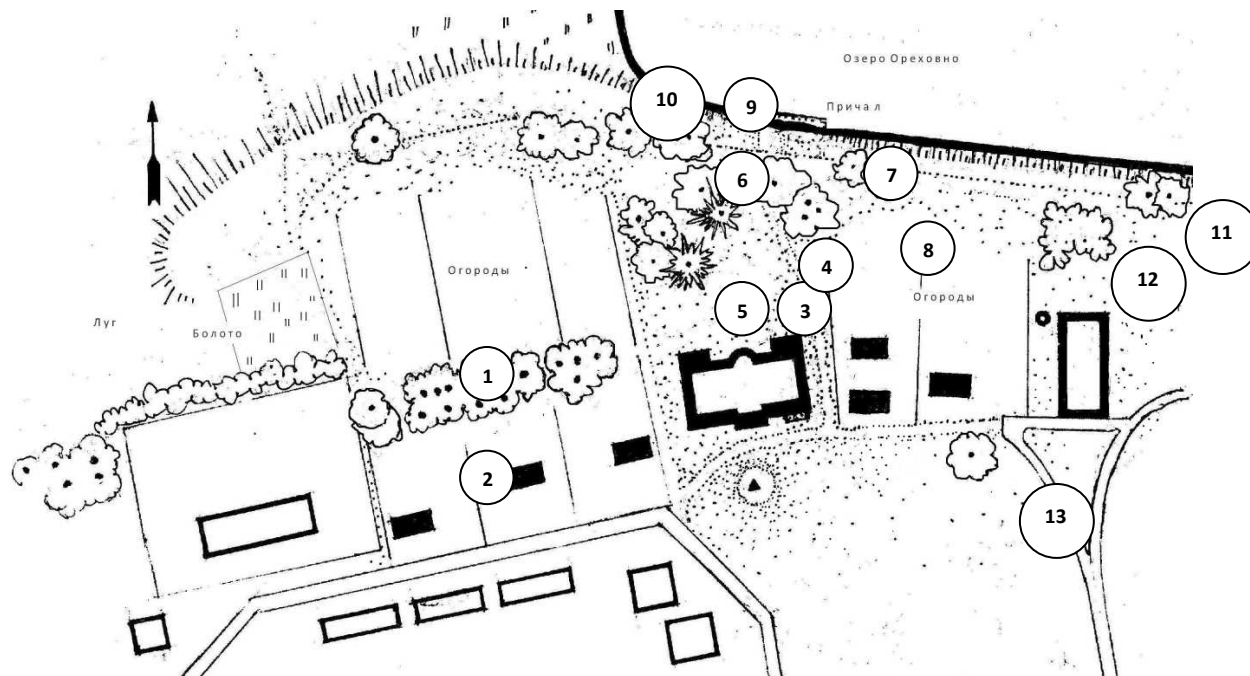
С целью восстановления архитектурного облика усадьбы Гребницких авторами статьи в течение 2017 – 2019 гг. в рамках государственной научно-исследовательской работы ГБ 3316 «Проблемы и тенденции развития архитектуры Белорусского Подвижья», были проведены ряд обследований и фотофиксация как зданий, так и территории усадебно-паркового комплекса (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Современное состояние здания усадебно-паркового комплекса Гребницких**

Особое внимание было уделено визуальным натурным обследованиям приусадебной части парка для уточнения планировочной и функциональной структуры территории усадьбы. Результаты работы фиксировались в форме кроков, фотографий и запи-

сей воспоминаний старожилов поселка. Современное состояние застройки и признаки бывшей планировочной структуры усадьбы и парка отражены в схеме генплана, составленного на основе кроков (рисунок 2).



Условные обозначения

	Здания усадебного дома и конезавода с водонапорной башней. 1840 г.		Хвойные деревья
	Застройка периода 1950-2000 гг. (детский сад, жилые дома, магазин)		Лиственные деревья и кустарники
	Жилые дома постройки 1920-1950 гг. (деревянные)		Травяной покров, газон

**Рисунок 2. – Схема современного состояния центральной части бывшей усадьбы Гребницких с указанием мест сохранившихся крупных деревьев**

Графических материалов XIX – начала XX вв. с генпланами поместья площадью 2500 десятин (чуть больше двадцати пяти квадратных километров) и самой усадьбы пока не найдено. В настоящее время с дороги Ушачи – Полоцк можно видеть группы массивных старинных деревьев на территории бывшей усадьбы. Эти группы, состоящие из лип одного возраста, своим расположением выявляют контуры бывшей въездной аллеи (рисунок 3).

От центра усадьбы прямая аллея шла в юго-западном направлении (на Ушачи) и примерно в 300 метрах круто поворачивала к старинному шляху. Качественное состояние старинных лип позволяет предположить, что их возраст превосходит 280 лет. По ориентации въездной липовой аллеи мы можем только предполагать, где находился старинный деревянный «панский дом» или «дворец», существовавший в 1745 г. (время покупки имения Антонием и Ядвигой Гребницкими).

По текстовым архивным источникам было установлено, что в 1840 году Николай Юзеф Гребницкий в Ореховно начал работы по строительству нового дома в стиле позднего классицизма. Он произвёл перепланировку парка, в результате которой от шляха к новому дворцу была сформирована новая въездная аллея длиной около 150 м и шириной 8 – 10 м.



**Рисунок 3. – Въездная липовая аллея**

На территории усадьбы к уже имевшимся хозяйственным постройкам Гребницкие добавили суконную фабрику, пивоварню, конезавод, кузницу и оборудовали водопроводную сеть. Водонапорная башня в конце XIX века была деревянной, затем на ее месте возвели кирпичную, но и она уже превратилась в развалины. До нашего времени сохранились лишь деревянные здания птичника и прачечной суконной фабрики, и кирпичное здание конюшни конезавода.

В результате работ по обновлению центральной усадьбы в середине XIX в. на берегу озера Ореховно появился живописный парковый ансамбль площадью около 20 гектаров. Он был сформирован аллеями, боскетами, мраморными скульптурами и цветниками и, в соответствии с новыми тенденциями, включал элементы старой планировки и ценные деревья более ранней посадки. Сохранились фрагменты прогулочной аллеи, проложенной вокруг озера и обсаженной ивами, сиренью и тополями (см. рисунок 2).

По свидетельству старожилов от боковых крыльев здания к озеру вели две аллеи из белой и желтой акации, параллельные боковым фасадам, имевшим дополнительные входы в дом. Сохранившаяся рядом с озером живописная группа из хвойных и лиственных деревьев располагалась между аллеями на планировочной оси (относительно здания), и можно допустить, была композиционным центром парка.

Севернее липовой аллеи (слева от оси) до середины XX в. существовал богатый и красивый плодовый сад, в котором большая площадь была отведена яблоням и вишне, а рядом с садом был небольшой искусственный водоем. Даже сейчас на заболоченном участке за оградой детского сада просматриваются его контуры. В зоне для декоративных растений имелись элементы искусственного рельефа, цветник, розарий, группы декоративных кустарников, перед главным фасадом с южной стороны на газоне располагались солнечные часы [5].

Обследования территории парка возле усадебного дома, проведенные авторами, позволило составить схему зонирования и экспликацию сохранившихся древесных насаждений парка, фиксирующую расположение самых крупных деревьев. Особую ценность для будущих поколений представляют исторические насаждения, сохранившиеся с XVIII – XIX вв. (см. рисунок 2). Краткие сведения об этих деревьях приведены в таблице 1 (методика систематизации растений по А. В. Колесникову) [7].

Таблица 1. – Характеристика сохранившихся древесных насаждений парка [6]

Род	Диаметр ствола, см	Максимально возможная высота, м	Предельный возраст в условиях парка	Примечание
1. Липа мелколистная	73	30	300-400 (ед.- до 500-600)	В возрасте 110 лет имеет средние высоту 24 м и диаметр ствола 42 см Узкопирамидальная крона, максимальный диаметр 150 см (ед. – 200 см)
2. Липа мелколистная	75			
3. Сосна веймутова (с. белая)	118	40 (ед. 50)	400	В 1605 г. привезена в Британию из Америки мореплавателем Веймутом (W) В 90 лет имеет диаметр ствола 76 см
4. Лиственница европейская (л. опадающая)	73	30 – 40	400-500 (ед.- до 600)	В качестве экотипа рассматривается лиственница польская **
5. Клен*	110	*	300	Уточнить форму (имеется всего 14 форм)
6. Клен остролистный	153	До 30		
7. Тополь белый (серебристый)	158	40 – 45	200	В 130 лет достигает высоты 40 метров и диаметра ствола 140 см (170 у основания)
8. Тополь*	116	*		Самые крупные в группе
9. Тополь*	108	*		
10. Тополь*	120	*		
11. Ива*	*	*	80 – 100	Род Ива имеет более 600 видов
12. Бузина черная*		5 – 10	50	Одичавшие заросли. Имеет 7 форм
13. Дуб *	135	30–40(ед. 50)	400 – 500 (ед. – 1000)	Насчитывается около 600 видов

Для более точной локализации деревьев и опорных точек всей системы парка надо провести полноценные обмеры данного объекта ландшафтной архитектуры, т. к. исторических документальных свидетельств и сведений о границах, составе и планировке парка нет.

**Заключение.** Материалы, полученные в результате обследования усадьбы Гребницких в агрогородке Ореховно, могут послужить поводом и основой для начала планомерной работы по реализации идеи о ревитализации данной усадьбы. Эта работа требует определенной системности и использования разных методов, которые определяются ценностью и сохранностью исторических построек, градостроительных, ландшафтных, природных и экономических условий [7].

В первую очередь необходимо в соответствии с требованиями административно-юридических процедур предложить администрации Витебского областного исполнительного комитета на уровне министерств принять решение о ревитализации усадьбы Гребницких и включить эту проблему в план работы Управления культуры области.

Целесообразно предложить администрации РИК Ушачского района начать совместную организационную работу по подготовке материалов к проведению общественного обсуждения темы «Ревитализация усадьбы Гребницких в агрогородке Ореховно».

В рамках подготовки к реализации предполагаемого проекта ревитализации усадьбы найти исполнителя для проведения топографической съемки существующих древесных и кустарниковых насаждений и их таксации (дендрологические характеристики, оценка качественного состояния). Эти работы могут осуществить студенты специальностей геодезия и архитектура Полоцкого государственного университета совместно с учащимися Полоцкого государственного лесного колледжа во время практики или специалисты проектных организаций.

В процессе сбора и анализа материалов по объекту выбрать принцип восстановления и адаптации, по которому можно наиболее рационально реставрировать усадебно-парковый комплекс Гребницких. После проведения восстановительных работ ансамбль усадьбы будет интересен как памятник архитектуры и паркового искусства, объект может быть включен в республиканские туристические маршруты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дзяржаўны спіс гісторыка-культурных каштоўнасцей Рэспублікі Беларусь. Зацверджан пастановай Савета Міністраў Рэспублікі Беларусь 15.06.2006 № 762.
2. Кулагин, А. Н. Архитектура дворцово-усадебных ансамблей Белоруссии: Вторая половина XVIII – начало XIX в. / А. Н. Кулагин. – Минск : Наука и техника, 1981. – 134 с. : ил.
3. Захаркина, Г.И. Усадьба Гребницких в Оболи / Захаркина Г.И., Давидович А.С. // Вестник ПГУ. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2016. – №16. – С. 18–22.
4. Захаркина Г.И. «Усадебно-парковый комплекс Гребницких в д. Ореховно Ушачского района» Сборник научных трудов по материалам конференции «Актуальные проблемы архитектуры Белорусского Подвинья и сопредельных районов. Новополоцк, 2018. – С. 80-83
5. Ореховно (Ушачский\_район): материал из Википедии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Ореховно\\_\(Ушачский\\_район\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ореховно_(Ушачский_район)). – Дата доступа: 18.09.2019

6. Усадьба Гребницких в воспоминаниях старожилов. Фонд кафедры «Архитектура», ПГУ. - 2019
7. Колесников, А. И. Декоративная дендрология / А. И. Колесников. – М. : Лесная промышленность, 1974. – 704 с.
8. Власюк, Н. Н. Научно-методические основы восстановления и адаптации исторических усадеб Беларуси для культурно-туристского использования / Н. Н. Власюк, Г. А. Потаев // Вестник БНТУ, Архитектура и строительство. – 2006. – № 2. – С. 5–10.



Секция II  
**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,  
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

УДК 691.328

**ОБЗОР ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СЦЕПЛЕНИЯ  
СЕМИПРОВОЛОЧНЫХ АРМАТУРНЫХ КАНАТОВ  
С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМ БЕТОНОМ**

**В.С. Пархоц**

Силезский технологический университет, Гливице, Республика Польша  
e-mail: vadzim.parkhats@polsl.pl

*Целью данной работы является обзор законов распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с преднапряженным бетоном, опубликованных различными учеными. Данный вопрос значительно менее изучен, чем связь между касательными напряжениями сцепления и проскальзыванием относительно бетона традиционной арматуры, и является особенно актуальным в моделировании предварительно натягиваемых бетонных конструкций.*

**Ключевые слова:** *зависимость касательных напряжений сцепления от проскальзывания, предварительно напряженный бетон, арматурный канат.*

**REVIEW OF BOND STRESS-SLIP RELATIONSHIPS  
FOR SEVENWIRE STRANDS IN PRESTRESSED CONCRETE**

**V. Parkhats**

Silesian University of Technology, Gliwice, Republic of Poland  
e-mail: vadzim.parkhats@polsl.pl

*The aim of this paper is to summarize bond stress-slip relationships for sevenwire strands in prestressed concrete published by different researchers. These relationships are considerably less studied than a bond stress-slip relationship for reinforcing steel and are particularly important in the modelling of pretensioned concrete structures.*

**Keywords:** *bond stress-slip relationship, prestressed concrete, strand.*

**Введение.** Значительное количество исследований проведено с целью описания связи между касательными напряжениями сцепления и проскальзыванием арматуры относительно бетона [1-4]. Результаты данных исследований систематизированы [5] и приведены в некоторых нормах по проектированию железобетонных конструкций. Работа Элигехаузена и др. [6] является основой закона распределения касательных напряжений сцепления арматуры с бетоном, приведенного в Model Code 1990 [7]

и доработанного в Model Code 2010 [8]. Также связь между касательными напряжениями сцепления и проскальзыванием арматуры описывается в китайской норме GB 50010-2010 [9] на базе испытаний Ксу [10]. Значительно меньше исследований было посвящено распределению касательных напряжений сцепления арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном. В нормах проектирования железобетонных и предварительно напряженных конструкций нет общепринятых зависимостей по данному вопросу. В данной работе приведены эмпирические и аналитические законы распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном различных ученых. Проводится оценка применимости выведенных законов в моделировании предварительно напряженных конструкций посредством анализа в программном комплексе ATENA 3D [11] предварительно натягиваемой бетонной балки в момент отпуска напрягаемой арматуры.

**Обзор исследований.** В данном разделе описываются исследования закона распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном. Выведенные формулы собраны в таблице 1. Полученные зависимости графически показаны на рисунке 1.

Балазс [12] вывел закон распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном на основе серии исследований, проведенных в Будапештском технологическом университете [13-15]. Испытания проводились используя арматурные канаты Felten & Guillaume ST 1600/1800-F 100 с площадью поперечного сечения  $100 \text{ мм}^2$ , модуль упругости – 193700 МПа. Номинальный диаметр каната составлял 12,8 мм, при этом центральная проволока имела диаметр 4,35 мм, а наружная проволока – 4,22 мм. Прочность бетона в момент отпуска арматуры составляла 40 МПа. Во время испытаний была обеспечена плавная передача напряжения с арматуры на бетон. Полученные касательные напряжения сцепления Балазс [12] сравнивал с величинами, полученными в исследованиях Джокела и Тепферса [16], Эдвардса и Пикарда [17], и делал вывод, что его результаты им не противоречат. При оценке касательных напряжений сцепления Балазсом [12] было предложено выделять верхнюю и нижнюю границы напряжений, используя в расчетах коэффициенты  $\psi_{0.95} = 1,35$  и  $\psi_{0.05} = 0,65$ .

Ох и др. [18] получили закон распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с бетоном на основе эмпирических исследований. Для испытаний они изготовили 24 балки, которые различались между собой номинальным диаметром использованных арматурных канатов (12,7 мм и 15,2 мм) и величиной нижнего защитного слоя бетона для арматуры (30 мм, 40 мм, 50 мм). Прочность бетона в момент отпуска арматуры составляла 32,71-35,50 МПа. Выведенная ими формула не учитывает изменение прочности бетона в момент отпуска арматуры, в связи с чем ее применимость в моделировании преднапряженных конструкций ограничена.

Лим и др. [19] использовали в своих испытаниях арматурные канаты диаметром 15,2 мм. Следует отметить, что представленная учеными эмпирическая формула по всей видимости содержит опечатку, поскольку полученные при ее использовании величины крайне противоречивы, а также не соответствуют графику, показанному авторами в своей статье.

Орр и др. [20] проводили исследования сил сцепления между бетоном и арматурой используя как преднапряженные канаты, так и канаты без предварительного напряжения. Методика испытаний была взята из работы Переры и др. [21] и базировалась на нормах BS 4449 [22] и ASTM A944 [23]. Испытания проводились с применением семипроволочных канатов Bridon диаметром 15,2 мм с площадью поперечного сечения 139 мм<sup>2</sup>. Средняя прочность бетона в момент испытаний составляла 54,2 МПа. При обработке зависимости между напряжениями сцепления и проскальзыванием арматуры относительно бетона за основу были взяты формулы из Model Code 2010 для гладкой арматуры (см. табл. 6.1-2 и формулы 6.1-1, 6.1-2, 6.1-3, 6.1-4 [8]), поскольку они наиболее точно описывали результаты эксперимента.

В отличие от описанных выше исследований, Кхалаф и Хуанг [24] вывели взаимосвязь касательных напряжений сцепления со смещением арматурных канатов относительно бетона аналитически. Полученный закон базируется на формулах из Model Code 2010 для рифленой арматуры (см. п. 6.1.1.1 [8]). Аналитическая модель разработана как для семипроволочных, так и для трехпроволочных арматурных канатов. Ее отличительной чертой является учет влияния повышенных температур. Достоверность полученной аналитической модели была проверена посредством сравнения ее результатов с многочисленными эмпирическими исследованиями [25-33].

Таблица 1. – Законы распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном

Исследование	Полученная зависимость	Параметры
Балазс [12]	$\tau = \psi c (f_{ci}')^{0,5} (s / d_b)^b$	$c = 2,055 \text{ МПа}^{0,5}; b = 0,25;$ коэффициент $\psi$ : $\psi_{0,95} = 1,35; \psi_m = 1,0; \psi_{0,05} = 0,65$
Лим и др. [19]		$c = 10,7 \text{ МПа}^{0,5}; b = 0,27; \psi = 1,0$
Ох и др. [18]	$\tau = C (s / d_b)^b$	для $d_b = 12,7 \text{ мм}$ : $C = 13,787 \text{ МПа}; b = 0,3301$
		для $d_b = 15,2 \text{ мм}$ : $C = 9,331 \text{ МПа}; b = 0,2688$
Орр и др. [20]	$\tau = \tau_{\max} (s / s_1)^\alpha$ для $0 \leq s \leq s_1$ ; $\tau = \tau_{\max}$ для $s_1 \leq s \leq s_2$ ; $\tau = \tau_{\max} - (\tau_{\max} - \tau_f) (s - s_2) / (s_3 - s_2)$ для $s_2 \leq s \leq s_3$ ; $\tau = \tau_f$ для $s > s_3$	преднапряженный канат: $\tau_{\max} = \tau_f = \delta_1 \delta_2 0,70 (f_{cm})^{0,5};$ $\alpha = 0,5;$ $s_1 = s_2 = s_3 = 0,1 \text{ мм}$
		канат без предварительного напряжения: $\tau_{\max} = \tau_f = \delta_1 \delta_2 0,70 (f_{cm})^{0,5};$ $\alpha = 0,5;$ $s_1 = s_2 = s_3 = 2 \text{ мм}$
		канат с рифлениями: $\tau_{\max} = T_b / A_b = T_b / \pi d_b L_b;$ $\tau_f = 0,35 \tau_{\max};$ $s_1 = 1,0 \text{ мм}; s_2 = 3,5 \text{ мм}; s_3 = 6,0 \text{ мм}$
Кхалаф и Хуанг [24]	$\tau = \tau_{\max} (s / s_1)^\alpha$ для $0 \leq s \leq s_1$ ; $\tau = \tau_{\max} - (\tau_{\max} - \tau_1) (s - s_1) / (s_2 - s_1)$ для $s_1 \leq s \leq s_2$ ; $\tau = \tau_1 + (\tau_{\max} - \tau_1) (s - s_2) / (s_3 - s_2)$ для $s_2 \leq s \leq s_3$ ; $\tau = \tau_{\max} - (\tau_{\max} - \tau_f) (s - s_3) / (s_4 - s_3)$ для $s_3 \leq s \leq s_4$ ; $\tau = \tau_f$ для $s > s_4$	гладкий канат: $\tau_{\max} = T_b / A_b = T_b / \pi d_b L_b;$ $\tau_1 = 0,75 \tau_{\max}; \tau_f = 0,35 \tau_{\max};$ $s_1 = 0,25 \text{ мм}; s_2 = 0,5 \text{ мм}; s_3 = 3,5 \text{ мм};$ $s_4 = 8,0 \text{ мм}$

Обозначения:

$\tau$  – касательное напряжение сцепления (МПа);

$s$  – проскальзывание арматуры относительно бетона (мм);

$d_b$  – диаметр арматурного каната (мм);

$f_{ci}'$  – прочность бетона в момент отпуска арматуры (МПа);

$f_{cm}$  – среднее значение цилиндрической прочности бетона на сжатие (МПа);

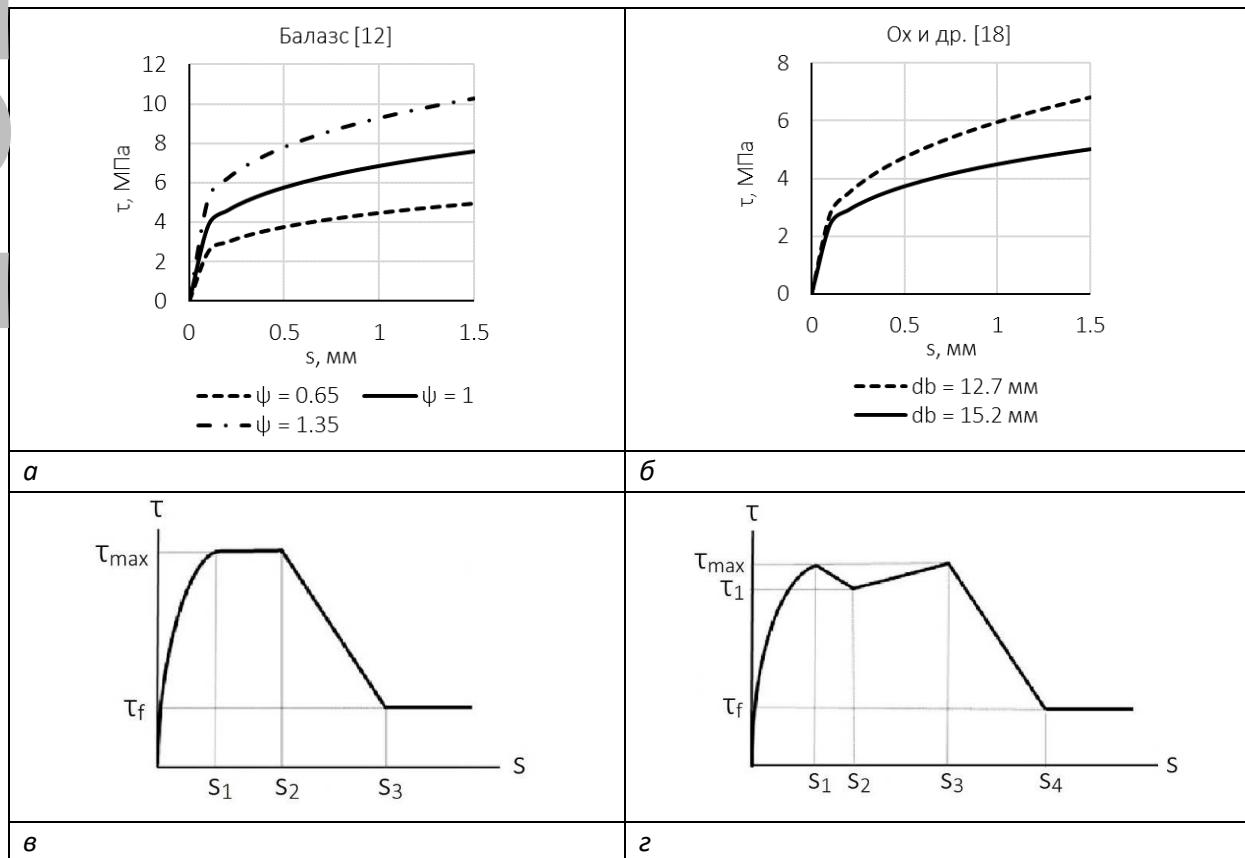
$\delta_1$  – коэффициент, зависящий от величины защитного слоя бетона для преднапряженной арматуры (см. [20]);

$\delta_2$  – коэффициент, учитывающий ограничение поперечным армированием или защитным слоем бетона (см. [20]);

$T_b$  – максимальная сила сцепления (Н) (процедура расчета описана в [24]);

$A_b$  – площадь контакта арматурного каната с бетоном (мм<sup>2</sup>);

$L_b$  – длина замоноличенной в бетоне части арматурного каната (мм).



**а** – зависимость Балазса [12] для верхней ( $\psi_{0.95} = 1,35$ ), нижней границы ( $\psi_{0.05} = 0,65$ ) и средней величины ( $\psi_m = 1,0$ ) напряжений сцепления;

**б** – зависимость Оха и др. [18] для канатов диаметром  $d_b = 12,7$  мм и  $d_b = 15,2$  мм;

**в** – зависимость из Model Code 2010 [8] для традиционной арматуры (с измененными параметрами используется в исследованиях Орра и др. [20], Кхалафа и Хуанга [24]);

**г** – зависимость Кхалафа и Хуанга [24] для гладких семипроволочных арматурных канатов

Рисунок 1. – Законы сцепления между семипроволочными арматурными канатами и преднапряженным бетоном

**Использование законов распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном в моделировании конструкций.** В Силезском технологическом университете в сотрудничестве фирмой Consolis Polska были проведены исследования [34, 35], дающие возможность оценить применимость законов распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с бетоном из предыдущего раздела в моделировании предварительно натягиваемых бетонных конструкций.

Опорная зона преднапряженной балки сканировалась в момент отпуска нагружаемой арматуры бесконтактной измерительной системой ARAMIS [36], работающей по принципу корреляции цифровых изображений (DIC) [37]. Целью данного эксперимента было определение распределения деформаций в опорной части элемента. Следует заметить, что использование бесконтактных измерительных систем в отношении преднапряженных конструкций по-прежнему остается ограниченным [38-41], большая часть подобных исследований проводится с использованием съемных механических тензометров [42-44].

К сожалению, в связи с обширной областью сканирования и недостаточно высоким оптическим разрешением системы ARAMIS, читаемые результаты удалось получить только для продольных деформаций, в то время как графики поперечных деформаций характеризовались значительными колебаниями. Помимо эмпирических испытаний, в программном комплексе ATENA 3D была создана модель преднапряженной балки. По умолчанию в программе можно выбрать только между двумя законами распределения касательных напряжений сцепления арматуры с бетоном [45, 46]: представленным в Model Code 1990 [7] и выведенным в работе Бигай [47]. Оба закона касаются традиционной арматуры, а не арматурных канатов, в связи с чем было принято решение использовать законы из предыдущего раздела данной статьи. Было проведено сравнение продольных деформаций в выбранных точках на боковой поверхности балки в момент отпуска нагружаемой арматуры, полученных с помощью измерений системой ARAMIS и в моделях элемента в программе ATENA 3D. Распределения продольных деформаций в моделях балки, в которых были применены законы Балазса [12], Оха и др. [18], а также Орра и др. [20] для преднапряженных канатов, были близки к полученным с помощью системы ARAMIS. Невысокая согласованность с результатами системы ARAMIS была получена при использовании законов Орра и др. [20] для канатов без предварительного напряжения и Кхалафа и Хуанга [24]. Помимо этого, попытка использования закона из Model Code 2010 [8] для традиционной арматуры также привела к несогласованности с результатами измерений системы ARAMIS, что, в данном случае, было ожидаемо.

Из проведенного эксперимента можно сделать вывод, что полученные эмпирические закономерности [12], [18], [20] могут успешно применяться в моделировании преднапряженных конструкций. Тем не менее, для точной оценки области их применения следует провести большее количество испытаний на различных предварительно натягиваемых бетонных элементах.

**Заключение.** В данной статье произведен обзор законов сцепления между семи-проволочными арматурными канатами и преднапряженным бетоном [12, 18-20, 24]. На основе исследований [34, 35] делается вывод, что использование в моделировании предварительно натягиваемых элементов законов Орра и др. [20] для преднапряженных канатов, Балазса [12] и Оха и др. [18] приводит к результатам близким к полученным в эмпирических испытаниях.

**Благодарность.** Статья была создана в рамках реализации проекта ВКМ-587/RB6/2019 на кафедре строительной инженерии RB-6 Силезского технологического университета.

Научные руководители – prof. dr hab. inż. **J. Kubica**, dr inż. **R. Krzywoń**, кафедра строительной инженерии RB-6, Силезский технологический университет, Гливице, Польша.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Haskett, M. Local and global bond characteristics of steel reinforcing bars / M. Haskett, D. J. Oehlers, M. S. Mohamed Ali // Eng. Struct. – 2008. – Vol. 30, iss. 2. – P. 376-383.
2. Maree, A. F. Analytical and experimental investigation for bond behaviour of newly developed polystyrene foam particles' lightweight concrete / A. F. Maree, K. H. Riad // Eng. Struct. – 2014. – Vol. 58. – P. 1-11.
3. Tang, C.-W. Local bond stress-slip behavior of reinforcing bars embedded in lightweight aggregate concrete / C.-W. Tang // Computers and Concrete. – 2015. - Vol. 16, iss. 3. – P. 449-466.
4. Metelli, G. Influence of the relative rib area on bond behaviour / G. Metelli, G. Plizzari // Mag. Concr. Res. – 2014. – Vol. 66, iss. 2. – P. 77-94.
5. fib Bulletin No. 10 – Bond of reinforcement in concrete. – Lausanne : fib, 2000. – 434 p.
6. Eligehausen, R. Local bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations / R. Eligehausen, E. P. Popov, V. V. Bertero // 7th European Conference on Earthquake Engineering. – Athens, 1982. – P. 69–80.
7. CEB-FIP Model Code 1990. – London : Thomas Telford Ltd., 1993. – 460 p.
8. fib Model Code for Concrete Structures 2010. – Berlin : Ernst & Sohn, 2013. – 432 p.
9. Code for Design of Concrete Structures: GB 50010-2010 (In Chinese). – Beijing : China Architecture & Building Press, 2015.
10. Xu, Y. L. Experimental study of anchorage properties for deformed bars in concrete : PhD thesis (In Chinese) / Y. L. Xu. – Beijing : Tsinghua University, 1990.
11. Cervenka, V. ATENA Program Documentation – Part 2-2 – User's Manual for ATENA 3D / V. Cervenka, J. Cervenka. – Prague, 2017. – 140 p.
12. Balazs, G. Transfer Control of Prestressing Strands / G. Balazs // PCI Journal. – 1992. - Vol. 37. – P. 60-71.
13. Tassi, G. Reliability of the Stress State due to Prestressing in Factory Made Elements / G. Tassi, L. Erdelyi, I. Bodi // Inzenyrske Stavby. – 1958. – Iss. 8.
14. Tassi, G. Bond Properties of Prestressing Strands / G. Tassi, L. G. Balazs, I. Bodi // Proceedings of the FIP Symposium. – Jerusalem, 1988. – P. 121-128.
15. Windisch, A. Characterization of the Bond Properties of Steel Bars – Research Report No. 232.019/1981 (in Hungarian) / A. Windisch, L. G. Balazs. – Budapest : Budapest University of Technology, 1983.

16. Jokela, J. Bond of Bundled Prestressing Strands – Nordic Concrete Research / J. Jokela, R. Tefers. – Oslo, 1982. – 19 p.
17. Edwards, A. D. Bonding Properties of 1/2 in. Diameter Strands / A. D. Edwards, A. Picard // ACI Journal. – 1972. – Vol. 69, iss. 11. – P. 684-689.
18. Oh, B.-H. Derivation of Development Length in Pretensioned Prestressed Concrete Members / B.-H. Oh, E.-S. Kim, Y.-C. Choi // J. of Korea Conc. Ins. – 2000. – Vol. 12, iss. 6. – P. 3-11.
19. Lim, S. N. Bond Characteristics and Transfer Length of Prestressing Strand in Pretensioned Concrete Structures / S. N. Lim, Y. C. Choi, B. H. Oh, J. S. Kim, S. Shin, M. K. Lee // FraMCoS-8. – Toledo, 2013. – P. 1-8.
20. Orr, J. J. Anchorage and Residual Bond Characteristics of 7-wire Strand / J. J. Orr, A. Darby, T. Ibell, N. Thoday, P. Valerio // Engineering Structures. – 2017. – Vol. 138. – P. 1-16.
21. Perera, K. Bond characteristics of near surface mounted CFRP bars / K. Perera, T. Ibell, A. Darby // Construct Build Mater. – 2013. – Vol. 43. – P. 58-68.
22. BS 4449:2005+A3:2016. Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar, coil and decoiled product. Specification. – London : BSI, 2016.
23. ASTM A944-10. Standard test method for comparing bond strength of steel reinforcing bars to concrete using beam-end specimens. – West Conshohocken, PA : ASTM International, 2015.
24. Khalaf, J. Analysis of the Bond Behaviour between Prestressed Strands and Concrete in Fire / J. Khalaf, Z. Huang // Construct Build Mater. – 2016. – Vol. 128. – P. 12-23.
25. Abrishami, H. H. Bond characteristic of pretensioned strand / H. H. Abrishami, D. Mitchell // ACI Mater. J. – 1993. – Vol. 90, iss. 3. – P. 228-235.
26. Vazquez-Herrero, C. Evaluation of strand bond properties along the transfer length of prestressed lightweight concrete members / C. Vazquez-Herrero, I. Martinez-Lage, G. Aguilar // Eng. Struct. – 2013. – Vol. 49. – P. 1048-1058.
27. Lundgren, K. Steel-Encased Pull-Through Tests of Seven-Wire Strands – Report No. 02:13 / K. Lundgren. – Gothenburg : Chalmers University of Technology, 2002.
28. Gustavson, R. Experimental studies of the bond response of three-wire strands and some influencing parameters / R. Gustavson // Mater. Struct. – 2004. – Vol. 37. – P. 96-106.
29. Moore, W. L. Performance of Fire-Damaged Prestressed Concrete Bridges : Master thesis / W. L. Moore. – Missouri : Missouri University of Science and Technology, 2008.
30. Cowen, H. S. End Support on Ultimate Flexural Bond in Pretensioned Beams. Bond in Prestressed Concrete – Progress Report No. 3 / H. S. Cowen, A. D. VanHorn. – Bethlehem : Lehigh University, 1967.
31. Tadros, M. K. Impact of Large 0.7 in. Strand on NU-I Girders – Final Reports Technical Briefs from Mid-America Transportation Centre / M. K. Tadros, G. Morcou. – 2011. – 48 p.
32. Bailey, C. G. Fire tests on bonded post-tensioned concrete slabs / C. G. Bailey, E. Ellobody // Eng. Struct. – 2009. – Vol. 31. – P. 686-696.
33. Zheng, W. Experiment and analysis on the mechanical behaviour of PC simply-supported slabs subjected to fire / W. Zheng, X. Hou // Adv. Struct. Eng. – 2008. – Vol. 11, iss. 1. – P. 71-89.
34. Krzywoń, R. Strains and stresses in the end zone of pre-tensioned concrete beams / R. Krzywoń, J. Hulimka, W. Mazur, K. Czarnota, V. Parkhats, P. Kaprzyk // Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures - Proceedings of the fib Symposium 2019. – Kraków, 2019. – P. 1127-1134.
35. Parkhats, V. Analiza zależności "naprężenie przyczepności - poślizg" dla ciągów sprężających w strunobetonie / V. Parkhats // Ujęcie aktualnych problemów inżynierii lądowej. Monografia nr 793. – Gliwice, 2019. – P. 211-218.
36. ARAMIS User Manual. – Braunschweig : GOM mbH, 2008.

37. Sutton, M. A. Image correlation for shape, motion and deformation measurements. Basic concepts, theory and applications / M. A. Sutton, J. J. Orteu, H. W. Schreier. – 2009.
38. Lecompte, D. Crack detection in a concrete beam using two different camera techniques / D. Lecompte, J. Vantomme, H. Sol // Struct. Health Monit. – 2006. – Vol. 5, iss. 1. – P. 59-68.
39. Gencturk, B. Use of digital image correlation technique in full-scale testing of prestressed concrete structures / B. Gencturk, K. Hossain, A. Kapadia, E. Labib, Y.-L. Mo // Measurement. – 2014. – Vol. 47. – P. 505-515.
40. De Wildera, K. Experimental investigation on the shear capacity of prestressed concrete beams using digital image correlation / K. De Wildera, P. Lavab, D. Debruyne, Y. Wang, G. De Roecka, L. Vandewalle // Engineering Structures. – 2015. – Vol. 82. – P. 82-92.
41. Soetens, T. Shear behaviour of prestressed precast SFRC girders / T. Soetens, S. Matthys, S. Heretele, W. De Waele // Engineering Structures. – 2017. – Vol. 142. – P. 20-35.
42. Russel, B. W. Measured Transfer Lengths of 0.5 and 0.6 in. Strands in Pretensioned Concrete / B. W. Russel, N. H. Burns // PCI Journal. – 1996. – Vol. 41, iss. 5. – P. 44-65.
43. Marti-Vargas, J. R. Measuring specific parameters in pretensioned concrete members using a single testing technique / J. R. Marti-Vargas, E. Garcia-Taengua, L. A. Caro, P. Serna // Measurement. – 2014. – Vol. 49. – P. 421-432.
44. van Meirvenne, K. Numerical and experimental analysis of the transfer length and its influence on the anchorage zone design of pretensioned concrete members / K. van Meirvenne, W. de Corte, V. Boel, L. Taerwe // Proc. 9th International Concrete Conference. – Dundee, 2016.
45. Cervenka, V. ATENA Program Documentation – Part 1 – Theory / V. Cervenka, L. Jendele, J. Cervenka. – Prague, 2018. – 334 p.
46. Jendele, L. Finite element modeling of reinforcement with bond / L. Jendele, J. Cervenka // Computers & Structures. – 2006. – Vol. 84, iss. 28. – P. 1780-1791.
47. Bigaj, A. J. Structural dependence of rotation capacity of plastic hinges in RC beams and slabs : PhD thesis / A. J. Bigaj. – Delft University of Technology, 1999.



УДК 621.131.43

## ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА

**А.М. Бурлакова, В.В. Филатов**

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: vshalin@vlsu.ru

*Значительная часть грунтов относится к категории слабых, величина модуля деформации которых не превышает 5 МПа. Поэтому несущая способность таких грунтов невелика и они нередко испытывают сильную деформацию под действием веса, возведённых на них зданий и сооружений, а также от действия статической нагрузки, создаваемой различными формами техногенного рельефа. В работе приведены результаты изучения зависимости критического усилия и глубины его максимального проявления для различных форм техногенного рельефа, силовые эпюры которых описаны треугольниками различных видов. В качестве модели грунтовой среды взято однородное полупространство. Построены номограммы зависимости критического усилия и максимальной глубины его проявления от физико-механических свойств грунта.*

**Ключевые слова:** *слабая грунтовая среда, техногенные формы рельефа, статическая нагрузка, критическая нагрузка.*

## ASSESSMENT OF THE CRITICAL STATE OF THE SOIL ENVIRONMENT UNDER THE INFLUENCE OF MAN-MADE LANDFORMS

**A. Burlakova, V. Filatov**

Vladimir state University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, Russian Federation  
e-mail: vshalin@vlsu.ru

*A significant part of the soil belongs to the category of weak, the value of the deformation modulus does not exceed 5 MPa. Therefore, the load-bearing capacity of such soils is small and they often experience severe deformation under the influence of weight, buildings and structures erected on them, as well as from the action of static load created by various forms of man-made relief. The paper presents the results of studying the dependence of the critical force and the depth of its maximum manifestation for various forms of technogenic relief, the force diagrams of which are described by triangles of different types. A homogeneous half-space is taken as a model of the soil medium. Nomograms of the dependence of the critical force and the maximum depth of its manifestation on the physical and mechanical properties of the soil are constructed.*

**Keywords:** *weak soil environment, technogenic relief forms, static load, critical load.*

**Введение.** Расчётная схема во всех рассмотренных ниже случаях, представляет собой однородное полупространство с распределённой нагрузкой  $P$ . Полупространство находится в гидростатическом напряжённом состоянии, при котором можно принять  $b_x = b_y = \gamma z$ , где  $b_x$  и  $b_y$  – начальные значения горизонтальных составляющих напряжения;  $\gamma z$  – величина нагрузки от веса грунта на глубине  $z$ . Напряжённое состояние в полупространстве на глубине  $z$  создаётся весом полупространства и влиянием статической нагрузки, обусловленной техногенными формами рельефа. Задача заключается в определении такой величины критической нагрузки  $P_{кр}$ , при которой область предельного равновесия достигнет глубины  $Z_{max}$ .

**Основная часть.** Рассматриваются частные случаи статической нагрузки.

Статическая нагрузка, эпюра которой описывается равнобедренным треугольником (рисунок 1).

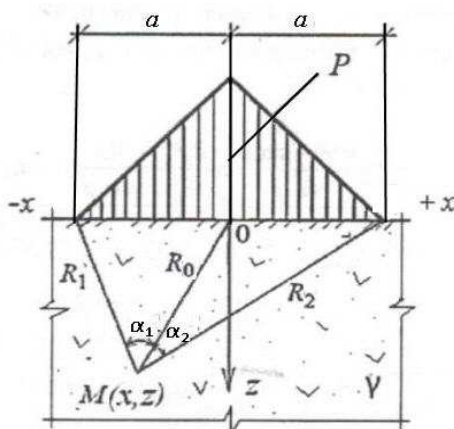


Рисунок 1. – Модель однородной грунтовой среды и эпюра внешней нагрузки

Главные напряжения  $b_1$  и  $b_2$  для статической нагрузки в форме равнобедренного треугольника равны [1]:

$$\sigma_1 = \frac{P}{\pi a} [a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2) - z \ln \rho] + \frac{Pz}{\pi a} \sqrt{(\ln \rho)^2 + (\alpha_1 - \alpha_2)^2} + \gamma z; \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{\pi a} [a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2) - z \ln \rho] - \frac{Pz}{\pi a} \sqrt{(\ln \rho)^2 + (\alpha_1 - \alpha_2)^2} + \gamma z. \quad (2)$$

где  $2a$  – длина базы действия нагрузки  $P(x)$ ;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  углы видимости базы действия нагрузки из произвольной точки  $M(x, z)$ ,  $\rho = \frac{R_1 R_2}{R_0}$ .

Условие предельного равновесия имеет вид [2]

$$\begin{aligned} \sigma_1 - \sigma_2 \\ = 2 \sin \varphi \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + C \operatorname{ctg} \varphi \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $C \operatorname{ctg} \varphi$  – давление связности;  $C$  – удельное сцепление связного грунта;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта.

Рассматривая совместно выражения (1), (2) и (3) и выполняя очевидные преобразования, получим выражение для координаты  $z$

$$z = \frac{[a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2)] + \frac{\pi a C}{P} \operatorname{ctg} \varphi}{\frac{1}{\sin \varphi} \sqrt{(\ln \rho)^2 + (\alpha_1 - \alpha_2)^2} - \frac{\pi a \gamma}{P} + \ln \rho} \quad (4)$$

Исследуя функцию (4) на экстремум по переменным  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , определим при найденных значениях этих углов наибольшую координату  $z_{\max}$ , при которой развивается критическое усилие  $P_{\text{кр}}$ ,

$$z_{\max} = \frac{[a(\alpha_1 + \alpha_2) + x(\alpha_1 - \alpha_2)] + \frac{\pi a C}{P} \operatorname{ctg} \varphi}{\frac{0,96 - \sin \varphi}{\sin \varphi} \ln \rho + \frac{0,4(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin \varphi} - \frac{\pi a \gamma}{P}} \quad (5)$$

Полагаем, что этому значению координаты  $z_{\max}$  соответствует критическая нагрузка  $P_{\text{кр}}$ . Для вычисления критической нагрузки  $P_{\text{кр}}$  используем уравнение [1]

$$z_{\max} = \frac{0,88 P B}{C_z} \quad (6)$$

где  $C_z = E/(1 - \nu^2)$  – коэффициент упругого полупространства;  $B=2a$  – длина базы действия нагрузки;  $E$  – модуль деформации;  $\nu$  – коэффициент Пуассона; ( $E$  и  $\nu$  принимаются постоянными для полупространства).

Приравнивая правые части выражений (5) и (6), получим уравнение

$$MP^2 + NP + L = 0, \quad (7)$$

где 
$$M = 1,76 \left[ \frac{0,96 - \sin \varphi}{\sin \varphi} \ln \rho + \frac{0,4(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin \varphi} \right];$$

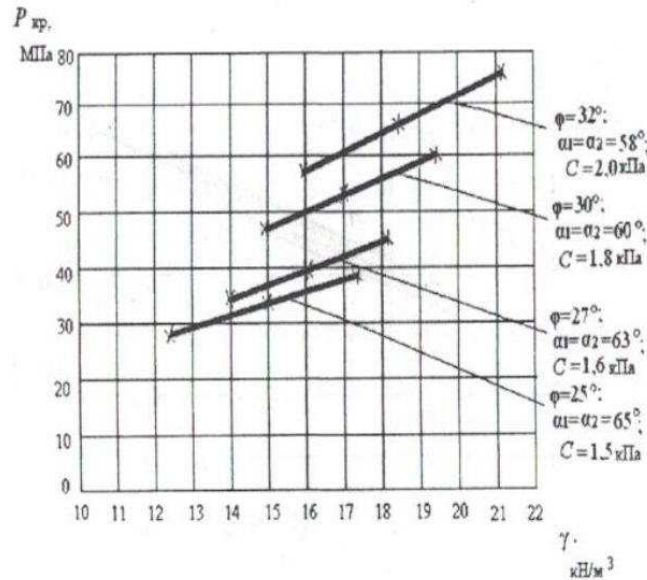
$$N = - \left\{ C_z \left[ (\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{x}{a} (\alpha_1 - \alpha_2) \right] + 1,76 \pi a \gamma \right\};$$

$$L = -\pi C_z C \operatorname{ctg} \varphi.$$

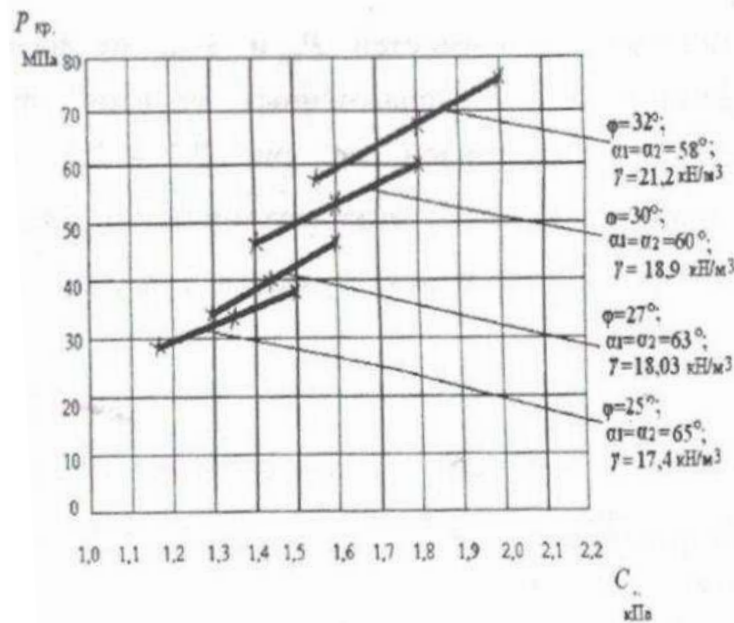
Решая квадратное уравнение (7), найдем формулу для вычисления критической нагрузки [3]

$$P_{\text{кр}} = \frac{N}{2M} \left\{ - \left[ 1 + \left( 1 - \frac{4ML}{N^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}. \quad (8)$$

По формулам (5) и (8) были вычислены зависимости критической нагрузки  $P_{кр}$  и глубины её максимального проявления  $Z_{max}$  для различных значений физико-механических характеристик. Результаты вычислений приведены на рисунках 2, 3.



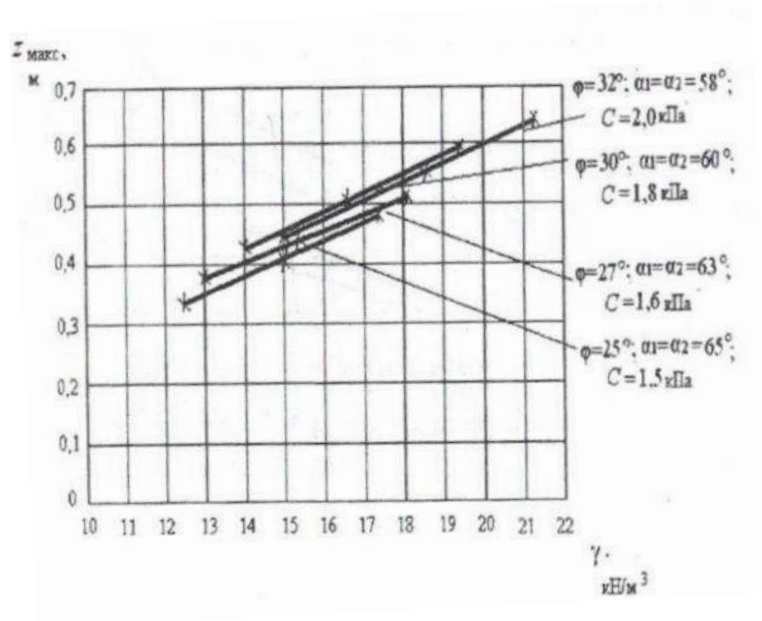
а



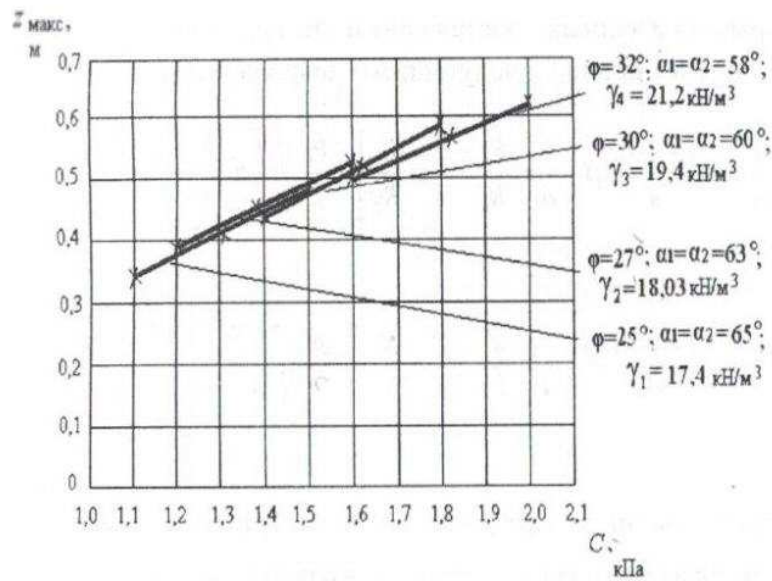
б

а – от удельного веса грунта  $\gamma$  при постоянных значениях сцепления  $C$ ;  
б – от удельного сцепления грунта  $C$  при постоянных значениях удельного веса грунта  $\gamma$

Рисунок 2. – Зависимость критической нагрузки  $P_{кр}$



а



б

а – от удельного веса грунта  $\gamma$  при постоянных значениях сцепления  $C$ ;  
 б – удельного сцепления грунта  $C$  при постоянных значениях удельного

Рисунок 3. – Зависимость координаты  $z_{max}$

**Заключение.** Из результатов расчётов, выполненных для указанной модели, а также результаты расчётов по другим моделям для внешних нагрузок, эпюры которых описываются различными зависимостями [3] следует, что предельное состояние грунта от действия статической нагрузки развивается на определённой глубине и зависит от физико-механических грунта и характера нагрузки:

–  $P_{кр}$  и  $z_{max}$  увеличиваются с увеличением физико-механических характеристик грунтов квазилинейно во всех исследованных случаях (для всех моделей), что свидетельствует об увеличении несущей способности грунта;

– для зависимости  $P_{кр}(\gamma)$  рост критического усилия происходит не только с увеличением  $\gamma$ , но также с увеличением  $C$  и  $\phi$ ;

– для зависимости  $P_{кр}(C)$  увеличение критического усилия происходит в основном за счёт роста удельного сцепления  $C$ ; за счёт увеличения  $\phi$  и  $\gamma$  критическое усилие увеличивается незначительно (примерно на 8%)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов, Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии: учебн-метод. пособие / Н.Н. Маслов. – М.: Высшая школа, 1968. – 629 с.
2. Цитович, Н.А. Механика грунтов: учебное пособие / Н.А. Цитович. – 4-е изд. – М.: Высшая школа, 1983. – 281 с.
3. Кравченко, Т.И. Проблемы оценки критического состояния слабой грунтовой среды под инженерными сооружениями / Т.И. Кравченко, В.В. Филатов, К.А. Дубов. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. – 344 с.

УДК 624.151.2:624.138

**НАТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВАНИЯ,  
АРМИРОВАННОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ И КОНИЧЕСКИМИ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ  
ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ СУХОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

**Т.В. Тронда, В.А. Сернов**

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: t.v.tronda@gmail.com

*Одной из инновационных и перспективных технологий по улучшению прочностных и деформационных свойств грунтовых оснований является армирование вертикальными элементами из сухой бетонной смеси. В статье приведены результаты натурного исследования фрагментов основания, сложенного пылевато-глинистыми грунтами и армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами из сухой бетонной смеси, на строительной площадке г. Минска; определена величина упрочнения для каждого инженерно-геологического элемента в пределах длины элементов.*

**Ключевые слова:** улучшение свойств грунтов, армирование грунтов, вертикальные элементы, сухая бетонная смесь, статическое зондирование.

**IN-SITU RESEARCH OF FOUNDATION SOILS  
REINFORCED WITH CYLINDRICAL AND CONICAL VERTICAL ELEMENTS  
OF DRY CONCRETE**

**T. Tronda, V. Siarnou**

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: t.v.tronda@gmail.com

*One of the innovative and perspective technologies for improving the strength and deformation properties of soil bases is the reinforcement with vertical elements of dry concrete at the construction site in Minsk. The results of in-situ research of foundation soils reinforced with cylindrical and conical vertical elements of dry concrete are presented in the article; the value of strengthening is determined for each geotechnical stratum along the element length.*

**Keywords:** ground improvement, soil reinforcement, vertical elements, dry concrete, cone penetration test.

**Введение.** Вертикальное армирование при строительстве на слабых грунтах является одной из наиболее эффективных технологий по упрочнению оснований. По сравнению с традиционными способами, применяемыми при строительстве на слабых грунтах, армирование слабых грунтов позволяет снизить и трудоемкость, и материалоемкость. При этом, в качестве армирующих элементов зачастую используют забивные,

набивные и другие виды свай. Однако, в условиях залегания у поверхности больших толщ слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов рациональным является применение вертикального армирования основания элементами из сухой бетонной смеси, которые позволяют одновременно дренировать и уплотнять природные грунты.

Ранее вертикальное армирование элементами из сухой бетонной смеси после проведения анализа инженерно-геологических условий и выполнения технико-экономического сравнения нескольких вариантов оснований и фундаментов было применено при строительстве трех девятиэтажных жилых домов в г.п. Колодищи [1-3].

Также вертикальное армирование основания плитного фундамента элементами из сухой бетонной смеси было выполнено при строительстве комплекса жилой застройки «Вивальди» в г. Минске [4, 5]. Исследования фрагментов армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами основания, проведенные на строительной площадке, рассмотрим далее.

**Результаты исследований.** Инженерно-геологические условия при строительстве комплекса жилой застройки «Вивальди» в квартале ул. Шафаронянской-Гинтовта-Ложинской-Городецкой в г. Минске относятся к сложным. Осложняющими факторами при устройстве фундаментов является наличие у поверхности прослоек слабых глинистых и насыпных грунтов, а на глубине 3,0...20,9 м от подошвы фундаментной плиты находится кровля слабых глинистых грунтов с органическими включениями, мергелей, мела и заторфованных грунтов общей мощностью до 26,8 м.

В связи со сложностью инженерно-геологических условий и на основании проведенного технико-экономического сравнения [2] было принято решение о применении вертикального армирования верхней части основания элементами из сухой бетонной смеси.

При строительстве пусковых комплексов применялись цилиндрические или конические вместе коническими вертикальные элементы.

Так, например, при строительстве 3-го пускового комплекса применялись вместе цилиндрические и конические вертикальные армирующие элементы с целью лучшего упрочнения основания. По технологии сначала выполнялись цилиндрические армирующие элементы (первая очередь) в шахматном порядке через один, а затем конические (вторая очередь). Элементы выполнялись по технологии вибровыштампованных набивных свай следующих размеров:

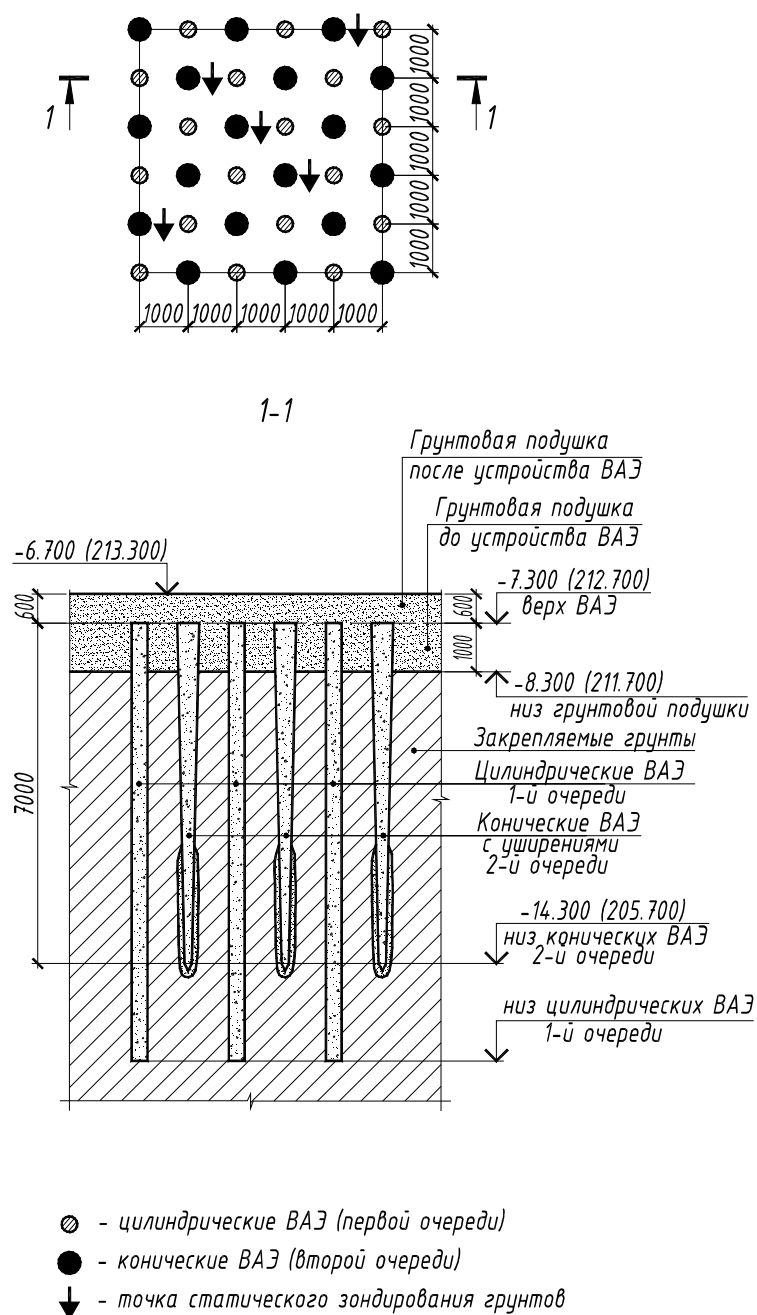
- цилиндрические – диаметром 325 мм и длиной 3-12 м;
- конические – диаметром оголовка 450 мм и длиной 7 м.

Выштампованные скважины заполнялись сухой бетонной смесью класса С12/15.

Перед началом устройства элементов была выполнена грунтовая подушка из песка для того, чтобы дать возможность технике спуститься и проводить работы в котловане. Толщина грунтовой подушки составила 1,6 м: 1,0 м ниже уровня оголовков элементов и 0,6 м выше.

Далее с целью проверки армированного основания и приема его в эксплуатацию было выполнено два опытных фрагмента, каждый из которых состоял из грунта, армируемого 18 цилиндрическими и 18 коническими элементами, и песчаной подушки сверху (рисунок 1).





**Рисунок 1. – Опытный фрагмент основания, армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами**

В качестве методов исследования использовался метод статического зондирования грунта между элементами до и после их устройства. Всего было выполнено 10 точек статического зондирования – по 5 точек для каждого опытного фрагмента. Статическое зондирование выполнялось в соответствии с ТКП 45-5.01-15-2005 [6].

Исследования опытных фрагментов показали, что удельное сопротивление грунта под наконечником зонда  $q_s$  и на участке боковой поверхности  $f_s$  возрастают по всей глубине как песчаных, так и глинистых грунтов.

По результатам статического зондирования грунтов определена величина упрочнения грунтов, которая характеризуется коэффициентом упрочнения  $K_y = q_s/q'_s$  ( $q_s$  – удельное сопротивление грунта под наконечником зонда до устройства элементов,  $q'_s$  – то же, после устройства элементов). Полученные величины коэффициента упрочнения  $K_y$  для каждого инженерно-геологического элемента в пределах длины конических элементов приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Коэффициент упрочнения грунтов  $K_y$

Наименование грунта	$q_s$ , МПа	$q'_s$ , МПа	$K_y$
грунтовая подушка (песок средний средней прочности)	6,18	12,96	2,10
суглинок слабый ( $\gamma_{II}=18,6$ кН/м <sup>3</sup> , $c_{II}=15$ кПа, $\phi_{II}=21^\circ$ , $E=3,5$ МПа)	1,47	2,61	1,78
суглинок средней прочности ( $\gamma_{II}=19,7$ кН/м <sup>3</sup> , $c_{II}=26$ кПа, $\phi_{II}=25^\circ$ , $E=8,0$ МПа)	2,33	4,57	1,96
суглинок и супесь прочные ( $\gamma_{II}=19,4$ кН/м <sup>3</sup> , $c_{II}=22$ кПа, $\phi_{II}=23^\circ$ , $E=15,0$ МПа)	6,60	9,40	1,42
суглинок с примесью органических веществ ( $\gamma_{II}=18,1$ кН/м <sup>3</sup> , $c_{II}=28$ кПа, $\phi_{II}=5^\circ$ , $E=9,0$ МПа)	2,86	5,62	1,97

Из таблицы видно, что происходит упрочнение всех инженерно-геологических элементов в пределах длины конических элементов. Величина упрочнения грунтов по 10 точкам зондирования в среднем составила  $K_y=1,85$ .

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенного натурного исследования основания, армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами из сухой бетонной смеси, удалось установить, что применение такой технологии эффективно в слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах и способствует значительному упрочнению основания по всей длине элементов: коэффициент упрочнения  $K_y$  составляет от 1,42 до 2,10 в зависимости от вида грунта, в среднем  $K_y=1,85$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сернов, В.А. Применение геомассива при строительстве трех девятиэтажных жилых домов в г.п. Колодищи / В. А. Сернов, Т. В. Тронда // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XVIII междунар. науч.-метод. сем., Новополоцк, 28-29 нояб. 2012 г. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: Д. Н. Лазовский [и др.]. – Новополоцк, 2012. – Т. II. – С. 286-292.
2. Тронда, Т.В. Натурные исследования упрочнения грунтов армирующими элементами из сухой бетонной смеси / Т. В. Тронда // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. / Акад. буд-ва України, Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування,

- Північ.-Зах. територ. від-ня АБУ ; редкол. Бабич Є. М. (відп. ред.) [та ін.]. - Рівне, 2014. – Вип. 29. – С. 561-566.
3. Tronda T. Improvement of soft soil characteristics through application of dry concrete mix pillars / T. Tronda // *Challenges and Innovations in Geotechnics : proc. of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference (8AYGEC), Astana, 5-7 Aug. 2016 ; ed.: A. Zhussupbekov. – London : Taylor & Francis Group; Leiden : CRC Press/Balkema, 2016. – P. 155-158.*
  4. Тронда, Т.В. Опыт усиления слабых водонасыщенных грунтов при строительстве многоэтажных зданий / Т. В. Тронда // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. / Акад. буд-ва України, Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування, Північ.-Зах. територ. від-ня АБУ ; редкол.: Бабич Є. М. (відп. ред.) [та ін.]. - Рівне, 2013. – Вип. 27. – С. 423-430.*
  5. Tronda T. Actual experience with the geomassif in complicated soil conditions / T. Tronda // *Advances in soil mechanics and Geotechnical engineering (ASMGE) : Proc. of the 5th International Young Geotechnical Engineers' Conference, Paris, 31 Aug. – 1 Sept. 2013 / Ecole des Ponts Paris-Tech ; ed.: Yu-Jun Cui [et al.]. – Paris; Amsterdam : IOS Press, 2013. – Vol. 2 – P. 151-154.*
  6. Прочностные и деформационные характеристики грунтов по данным статического зондирования и пенетрационного каротажа. Правила определения : ТКП 45-5.01-15-2005. – Введ. 01.07.2006. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2005. – 28 с.

УДК 624.012.36:311.214

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Д.О. Глухов<sup>1</sup>, Т.М. Глухова<sup>2</sup>*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь  
e-mail: d.gluhov@pso.by<sup>1</sup>, t.gluhova@psu.by<sup>2</sup>

*Показано влияние нелинейных моделей строительных элементов и конструкций на форму вероятностных распределений, описывающих сопротивление конструкции и воздействие. Показано, что расчетные сочетания усилий как случайная величина, в силу процессов перераспределения усилий, связанных с трещинообразованием, представляет собой смесь несимметричных деформированных вероятностных распределений, что не допускает применение упрощенных методов оценки надежности. Предложен алгоритм оценки надежности строительных конструкций с применением нелинейных моделей, основанный на методе Монте-Карло с оптимизацией.*

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, нелинейные модели, надежность, вероятностные модели, статистическое моделирование.

## METHODS AND ALGORITHMS FOR PROBABILISTIC ASSESSMENT OF RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

*D. Glukhov<sup>1</sup>, T. Glukhova<sup>2</sup>*

Polotsk State University, Republic of Belarus  
e-mail: d.gluhov@pso.by<sup>1</sup>, t.gluhova@psu.by<sup>2</sup>

*This paper shows the effect of the use of nonlinear models of building elements and structures on the shape of probability distributions describing the structural resistance and loads. It is shown that the calculated combinations of forces as a random variable, due to the processes of redistribution of forces associated with cracking, is a mixture of asymmetric deformed probability distributions, which does not allow the use of simplified methods for assessing reliability. We have proposed an algorithm for assessing the reliability of building structures using non-linear models based on the Monte-Carlo method with optimization.*

**Keywords:** reinforced concrete structures, nonlinear models, reliability, probabilistic models, statistical modeling.

В Полоцком государственном университете проделана большая работа в области нелинейного моделирования строительных конструкций и отдельных элементов конструкций. В рамках научной школы д.т.н., профессора Лазовского Д.Н. в работах ряда авторов (Глухов Д.О., Лазовский Е.Д., Глухова Т.М.) получен важный фундаментальный результат, а именно, выполнен переход к интегральной форме записи систем уравне-

ний равновесия, описывающих напряженно-деформированное состояния сечений нормальных и наклонных к продольной оси железобетонного элемента (1). Данный переход позволил взглянуть на задачу расчета напряженно-деформированного состояния шире и применить высокоточные немультимпликативные квадратурные правила.

$$\begin{cases} M_y = -\iint_C \sigma(\varepsilon(x, y))(y - y_o) dx dy + N(y_{oe} - y_o) \\ M_x = -\iint_C \sigma(\varepsilon(x, y))(x - x_o) dx dy + N(x_{oe} - x_o) \\ N = \iint_C \sigma(\varepsilon(x, y)) dx dy \\ V = \iint_C \tau_t dx dy \end{cases} \quad (1)$$

Разработаны методы и алгоритмы расчета железобетонных элементов на совместное действие изгибающих моментов, продольной и перерезывающей силы для сечений произвольной геометрии.

Лешкевичем О.Н., Глуховым Д.О., Глуховой Т.М. разработан алгоритм расчета методом конечных элементов пространственных строительных конструкций с учетом физической и геометрической нелинейности.

В силу высокой сложности построения комплексной модели, описывающей нелинейные свойства составного конструктивного элемента строительной конструкции, как конечно-элементной 3-х мерной объемной модели в пространстве полного 6-мерного тензора деформаций и соответствующего тензора напряжений, а также с учетом математической модели сцепления арматуры с бетоном, выделяют отдельные нелинейные модели, описывающие нелинейное поведение конструкции в наиболее опасных (подверженных разрушению) участках конструкции (рисунок 1).

Системы нелинейных сингулярных уравнений являются основой целого ряда математических моделей. В частности, такие системы возникают при попытке описать напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов, работающих под нагрузкой при внецентренном сжатии и изгибе, при работе таких элементы в предпорной зоне на срез с изгибом. Сингулярные свойства таких моделей связаны с тем, что те либо иные параметры, зависимости, описывающие свойства модели, имеют точки разрыва первого и второго рода. Такие точки разрыва фактически разделяют всю область определения входных параметров на подобласти непрерывного поведения. Для затронутого примера, такие точки разрыва позволяют описать скачкообразное изменение напряжения в бетоне в момент трещинообразования.

Опыт нескольких лет изучения подобного рода математических моделей с целью разработки эффективных алгоритмов решения сингулярных систем нелинейных уравнений показал, что наиболее верным подходом является детальное изучение всех особенностей многомерной поверхности решения и применение различных стратегий поиска решения на поверхности решений в зависимости от области непрерывного поведения системы, в которой находятся значения входных параметров.

Апробация разработанных нелинейных моделей была проведена в рамках 7 диссертационных исследований: Лазовский Д.Н., Лешкевич О.Н., Жукьян А.П., Салех Али Хомуд, Бадалова Е.Н., Лазовский Е.Д., Лазовский А.Д.

Таким образом, в Полоцком государственном университете имеются достаточные компетенции для численного моделирования большинства наиболее опасных расчетных ситуаций и участков конструкции.

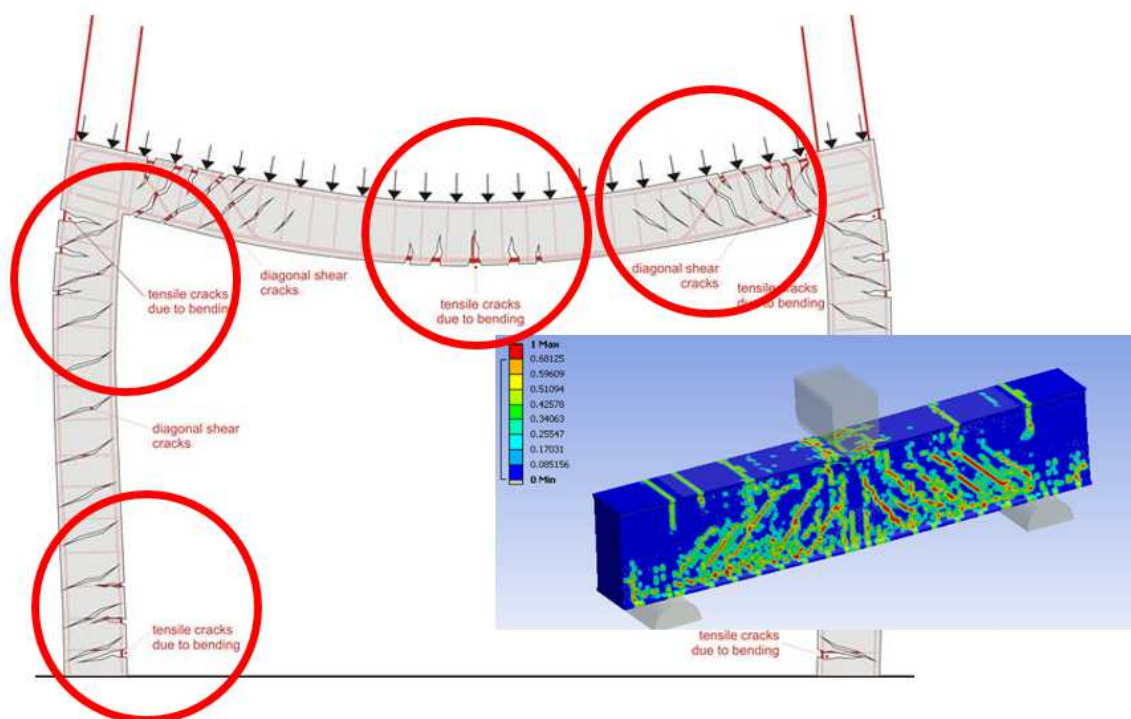


Рисунок 1. – Наиболее опасные расчетные ситуации

Данный теоретический задел позволил создать программное обеспечение для инженерных расчетов по нелинейным моделям как для отдельных железобетонных элементов, так и для строительных конструкций в целом и поставить вопрос о возможности оценки надежности проектируемых или находящихся на стадии оценки технического состояния строительных конструкций.

В Республике Беларусь усилиями целого ряда ученых (Т.М. Пецольд, В.В. Тур, А.А. Кондратчик, В.В. Надольский, В.Г. Казачек Д.Н. Лазовский, Д.О. Глухов и др.) ведется разработка единого методологического подхода к оценке надежности проектируемых и существующих строительных конструкций. Новая концепция надежности, определенная в утвержденном постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь 29.12.2007 № 67 и введенном в действие с 1 июля 2008 года СТБ ISO 2394-2007 "Надежность строительных конструкций. Общие принципы" четко определяет область применения вероятностных методов расчета индекса надежности.

Европейские нормы ТКП EN 1990 также предлагают систему параметров и соответствующих им законов распределения для имитационного моделирования поведе-

ния железобетонной конструкции, выстроенную по результатам многолетних исследований, с целью определения вероятности разрушения конструкции в целом или отдельно взятого конструктивного элемента.

Для выполнения вероятностных расчетов на стадии проектирования требуется по известным вероятностным моделям, лежащим в основе формирования проектных классов прочности, восстановить параметры теоретических распределений, провести статистическое моделирование методом Монте-Карло, и дать аналитические оценки взаимного влияния независимых случайных величин на распределение результирующей величины. Для обследуемых конструкций идентификация параметров теоретических распределений осуществляется по результатам детального обследования.

Поскольку, говоря о надежности, мы говорим о вероятностях порядка  $1e-6$ , лежащей в области хвостов распределений, то качеству идентификации уделяется особое значение. Качество оценивается по значению критериев согласия (Пирсона, Колмогорова, Крамера-Мизеса-Смирнова, Купера и др.).

Определение точного значения данного интеграла является в большинстве случаев невыполнимой задачей, поэтому для моделей, допускающих дифференцируемость, применяются упрощенные методы оценки значения интеграла, которые носят название FORM (First Order Reliability Method) и SORM (Second Order Reliability Method). [1] Или метод Монте-Карло. Однако, учитывая порядок малости искомой вероятности, моделирование методом Монте-Карло требует большого объема вычислений и не применяется без соответствующих методов оптимизации.

Для оценки вероятности  $P_f$  широкое распространение получила процедура определения индекса надежности  $\beta$  (индекс безопасности по С.А. Корнелл [2], характеристика безопасности по А.Р. Ржаницын [3], индекс надежности по Раквицу и Фислеру [4]).

В силу нелинейности модели необходимо отметить, что процессы трещинообразования и перераспределения усилий в конструкции искажают как распределение, описывающее сопротивление элементов [5], так и существенно (при переходе от расчетных сочетаний нагрузок к расчетным сочетаниям усилий) деформируют и кластеризуют распределение, описывающее воздействие.

Поэтому применение распространенной формулы индекса надежности, применяемой из предположения о нормальном законе распределения функции воздействия, функции предельного состояния, и независимости случайных величин S и R (2), недопустимо.

$$\beta = -\Phi^{-1}(p_f) = \frac{m_R - m_S}{\sqrt{s_R^2 + s_S^2}} \quad (2)$$

Нами построен алгоритм вероятностной оценки надежности строительной конструкции на основе метода Монте-Карло с оптимизацией, показанный на рисунках 2–4.

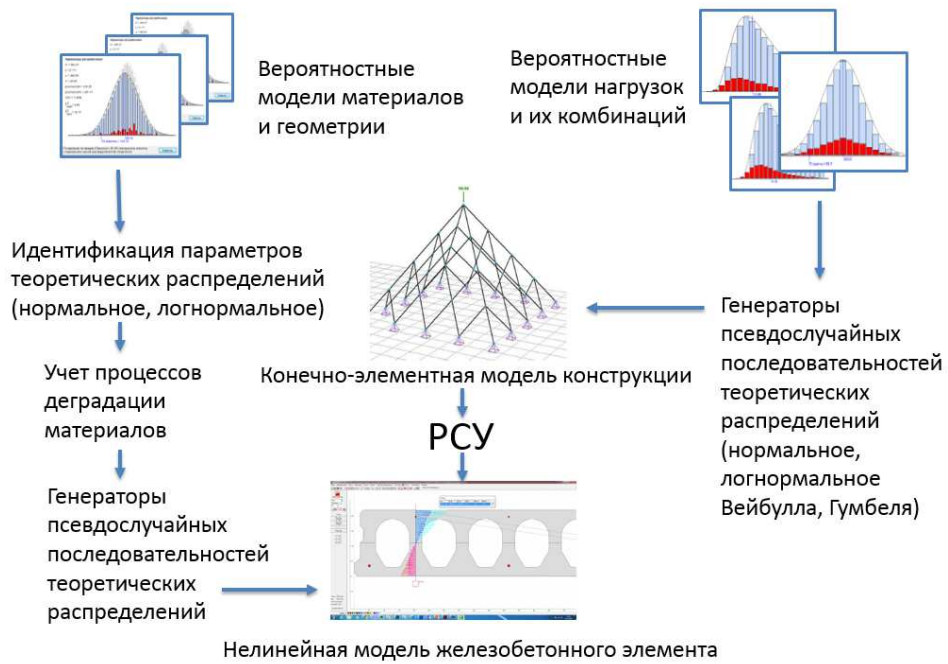


Рисунок 2. – Последовательность построения нелинейной вероятностной модели

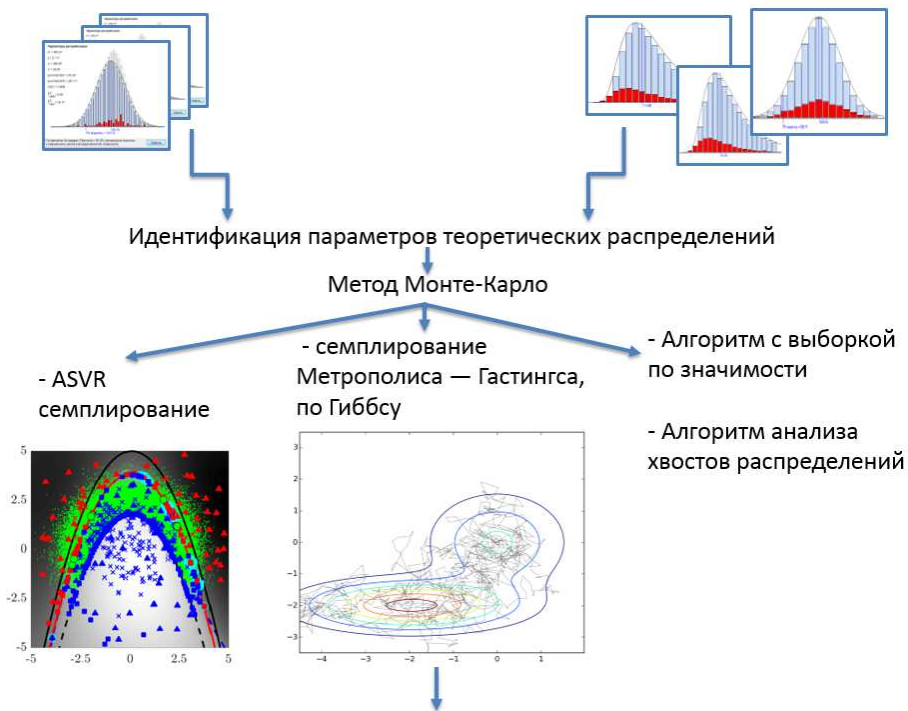
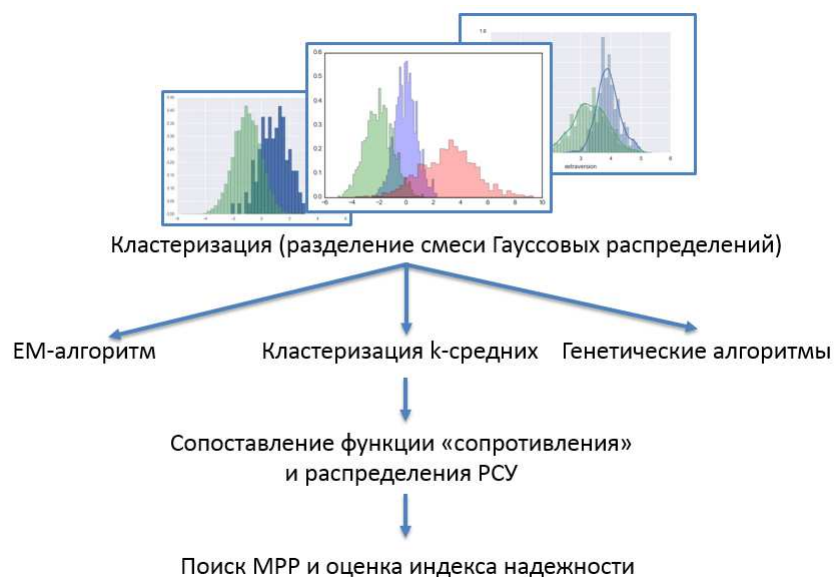


Рисунок 3. – Нелинейное вероятностное моделирование методом Монте-Карло с оптимизацией





**Рисунок 4. – Обработка результатов вероятностного моделирования с целью определения индекса надежности**

**Выводы:**

1. Нелинейные процессы в строительных конструкциях, связанные с трещинообразованием и изменением жесткости сечений, приводят к существенным искажениям и кластеризации вероятностных распределений, описывающих сопротивление и воздействие на элементы, что делает невозможным применение упрощенных методов оценки индекса надежности;
2. Предложен алгоритм оценки надежности строительных конструкций с применением нелинейных моделей, основанный на методе Монте-Карло с оптимизацией.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Haldar, A., and Mahadevan, S. (2000) Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design, Wiley, New York.
2. Cornell C. A. Bounds on the Reliability of Structural Systems / C. A. Cornell // American Society of Civil Engineers : Journal of the Structural Division ASCE. – February, 1967. – Vol. 93, No. ST. – P. 171–200.
3. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.
4. Rackwitz, R., and Fiessler, B. Structural Reliability under Combined Random Load Sequences / Computers and Structures, 9. – 1978. – P.489-494
5. Глухов, Д. О. Разделение смеси гауссовых распределений при оценке надежности железобетонных элементов / Д. О. Глухов, Т. М. Глухова // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сборник научных статей XXI Международного научно-методического семинара, Брест, 25–26 октября 2018 года : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Строительный факультет ; редкол.: В. В. Тур [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2018. – Часть 1. – С. 119–124.

УДК 691.328.43

### АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ИЗГИБАЕМЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ

**А.А. Хотько, С.М. Акбар**

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: Khatsko@bntu.by

*В статье описаны результаты численного эксперимента по определению ширины раскрытия трещин и прогибов изгибаемых элементов со стеклопластиковой арматурой. Выполнено сравнение полученных данных по различным методикам с опытными данными.*

**Ключевые слова:** *стеклопластиковая арматура, изгибаемые элементы, методика расчета, трещины, прогибы, эксплуатационная пригодность.*

### ANALYSIS OF METHODS OF CALCULATION OF BENT CONCRETE STRUCTURES WITH FIBERGLASS REINFORCEMENT BY OPERABILITY

**A. Khotsko, S. Akbar**

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: Khatsko@bntu.by

*The article describes the results of a numerical experiment to determine the width of the opening of cracks and deflections of bent elements with fiberglass reinforcement. A comparison of the data obtained by various methods with experimental data is performed.*

**Keywords:** *fiberglass reinforcement, flexible elements, calculation procedure, cracks, deflections, serviceability.*

В последние годы наблюдается активизация деятельности производителей и поставщиков стеклопластиковой арматуры, направленной на внедрение такой арматуры в производство несущих конструкций, в том числе стеклопластбетонных изгибаемых элементов. В нормативной базе Республики Беларусь отсутствуют действующие технические нормативные правовые акты (далее - ТНПА), позволяющие применять композитную арматуру в изгибаемых стеклопластбетонных несущих конструкциях. С учетом специфических особенностей стеклопластиковой арматуры, внедрение ее в производство несущих конструкций невозможно без соответствующих научных обоснований, основанных на имеющихся теоретических предпосылках и выполненных экспериментальных исследованиях. Многочисленные экспериментальные исследования свидетельствуют о значительных прогибах и ширине раскрытия трещин конструкций армированных стеклопластиковой арматурой по сравнению с аналогичными конструкциями со стальной арматурой. Поэтому использование всех преимуществ композитной арма-

туры при армировании изгибаемых элементов возможно только при условии ее предварительного напряжения, способного повысить трещиностойкость и уменьшить прогибы конструкций при эксплуатационных нагрузках.

Даже при условии решения проблемы со сложностью создания предварительного напряжения композитной арматуры, является актуальным вопрос достоверной расчетной оценки ширины раскрытия трещин и величины прогибов. Исследования в этом направлении проводятся как в Республике Беларусь, под руководством профессоров Т.М. Пецольда, В.В.Тура, так и в Российской Федерации, и в других странах [1-8]. Методики расчета ширины раскрытия трещин изгибаемых элементов с композитной арматурой изложены в разработанных НИПТИС рекомендациях [2], а также в разработанных НИИЖБ им. А.А.Гвоздева строительных правилах [3]. Среди Европейских методик можно отметить «Руководство по проектированию и строительству бетонных конструкций, укрепленными волокнистыми полимерными стержнями» (Рим, 2006 г) [4].

Расчет стеклопластбетонных конструкций согласно указанным методикам предлагается выполнять по аналогии с расчетом железобетонных конструкций со стальной арматурой с учетом специфических свойств арматуры из стеклопластиков и особенностей ее работы в бетоне. Все рассмотренные нами методики имеют принципиально одинаковый подход к расчету ширины раскрытия трещин изгибаемых железобетонных элементов со стеклопластиковой арматурой и определяют ее как произведение расстояния между трещинами, относительных деформаций между трещинами и эмпирических коэффициентов, зависящих от различных факторов, влияющих на трещиностойкость. Однако, имеются различия в определении каждого из этих составляющих. Не все методики учитывают деформации бетона на участке между трещинами. Принципиально отличаются подходы к определению расстояния между трещинами. Дополнительные эмпирические коэффициенты при формулах учитывают зависимость от разных факторов и имеют отличные численные значения.

Исследователи РФ, Республики Беларусь и ученые Европейских стран имеют также различные подходы к определению прогибов изгибаемых железобетонных элементов со стеклопластиковой арматурой при наличии трещин в них. Подход белорусских ученых при определении прогибов аналогичен методике расчета прогибов по Европейским нормам, с учетом специфических свойств стеклопластиковой арматуры. Российские исследователи вычисление прогиба производят путем разбиения элемента на ряд участков, определения кривизны на границах этих участков (с учетом отсутствия или наличия трещин и знака кривизны) и перемножения эпюр моментов и кривизны по длине элемента при линейном распределении кривизны в пределах каждого участка.

С целью оценки достоверности описанных выше методик, нами был выполнен расчет ширины раскрытия трещин и прогибов по различным методикам, для изгибаемого элемента, армированного в растянутой зоне стеклопластиковой арматурой и сравнение полученных данных с результатами экспериментальных исследований.

К сожалению, нами не было найдено результатов экспериментальных данных с предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой, что вероятно связано со сложностью захвата такой арматуры при создании предварительного напряжения.

Из опубликованных данных по испытаниям предварительно напряженных изгибаемых элементов с композитной арматурой известны исследования профессора Тура В.В. Однако эти исследования проводились с комбинированным армированием. Поэтому, с целью расчетной оценки рассматриваемых методик, нами были использованы опытные данные, полученные на изгибаемых элементах со стеклопластиковой арматурой без предварительного напряжения и описанные в работах А.Р. Волик [7] и А.А. Почебыт [8].

Кроме методик, предложенных в документах [2], [3] и [4] был выполнен расчет ширины раскрытия трещин с использованием общего деформационного метода, реализованного в программном продукте ВЕТТА+. Данный программный продукт в его части, предназначенной для научных исследований, позволяет в качестве исходных данных задавать произвольные диаграммы деформирования материалов (полученных по опытным данным), что ставит возможным расчет бетонных сечений, армированных стеклопластиковой арматурой (рис.1).

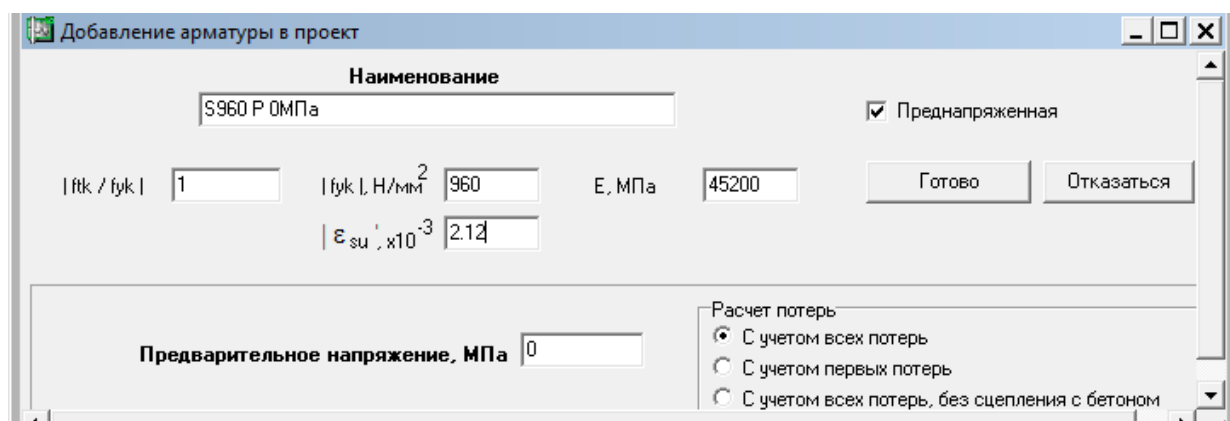
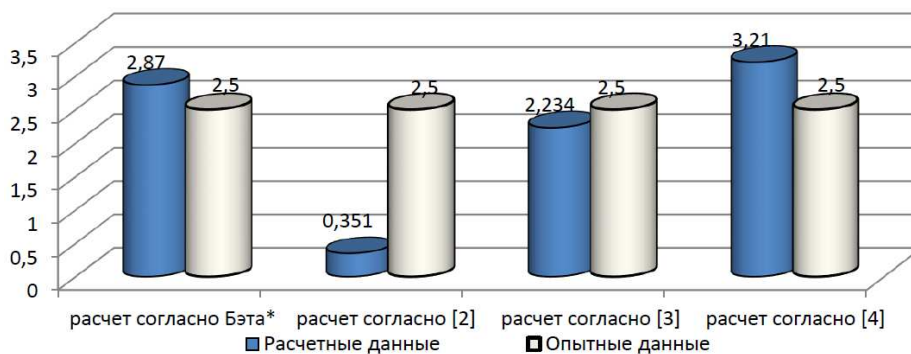


Рисунок 1. – Задание параметров диаграммы деформирования стеклопластиковой арматуры

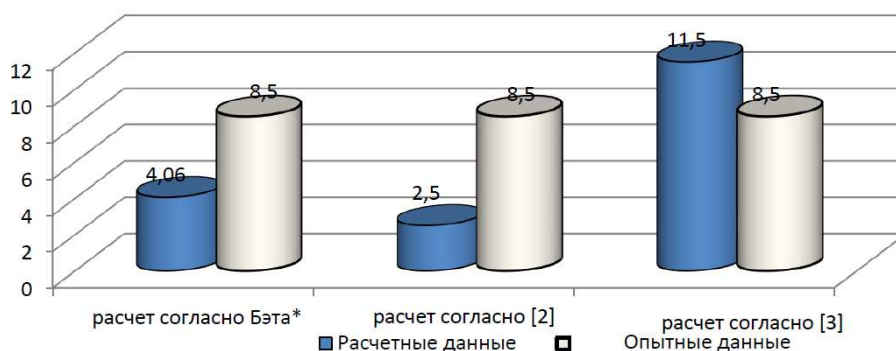
В качестве исходных данных для первого численного эксперимента использованы данные, соответствующие экспериментальным условиям, описанным в [8]: изгибаемый элемент, прямоугольного сечения, с размерами 100×180мм, армированный в растянутой зоне 4Ø8мм стеклопластиковой арматуры (в два ряда, с расстоянием между ними 30мм) с характеристиками:  $f_t=960\text{МПа}$ ,  $E_f=45200\text{МПа}$ , в сжатой зоне 2Ø6S500. Бетон класса C25/30. Результаты расчета ширины раскрытия трещин и прогибов по рассматриваемым методикам показаны на рис. 2, 3.

В качестве исходных данных для второго численного эксперимента использованы данные, соответствующие экспериментальным условиям, описанным в [7]: изгибаемый элемент, прямоугольного сечения, с размерами 120×220мм, армированный в растянутой зоне 1Ø10мм стеклопластиковой арматуры с характеристиками:  $f_t=962\text{МПа}$ ,  $E_f=45660\text{МПа}$ . Бетон класса C25/30. Результаты расчета ширины раскрытия трещин и прогибам по рассматриваемым методикам показаны на рис. 4, 5.



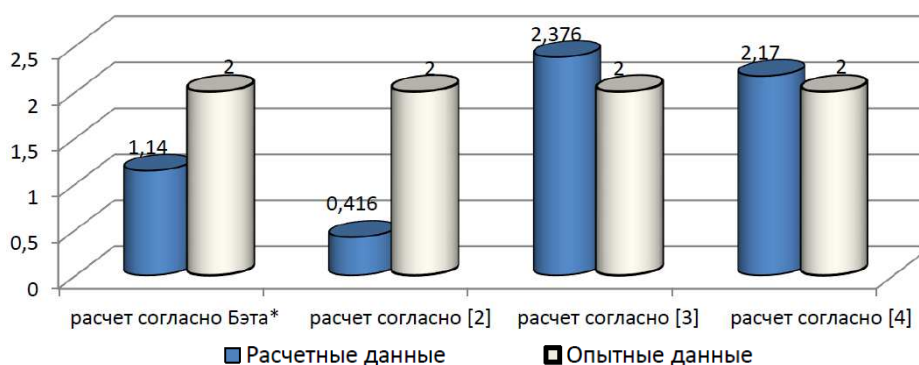
\* – расчет в программном продукте Betta+

Рисунок 2. –Сравнение результатов расчета ширины раскрытия трещин по различным методикам с опытными данными по [8]



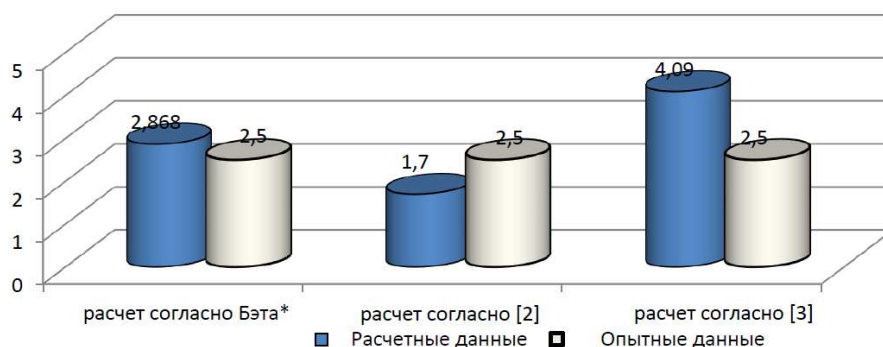
\* – расчет в программном продукте Betta+

Рисунок 3. – Сравнение результатов расчета прогибов по различным методикам с опытными данными по [8]



\* – расчет в программном продукте Betta+

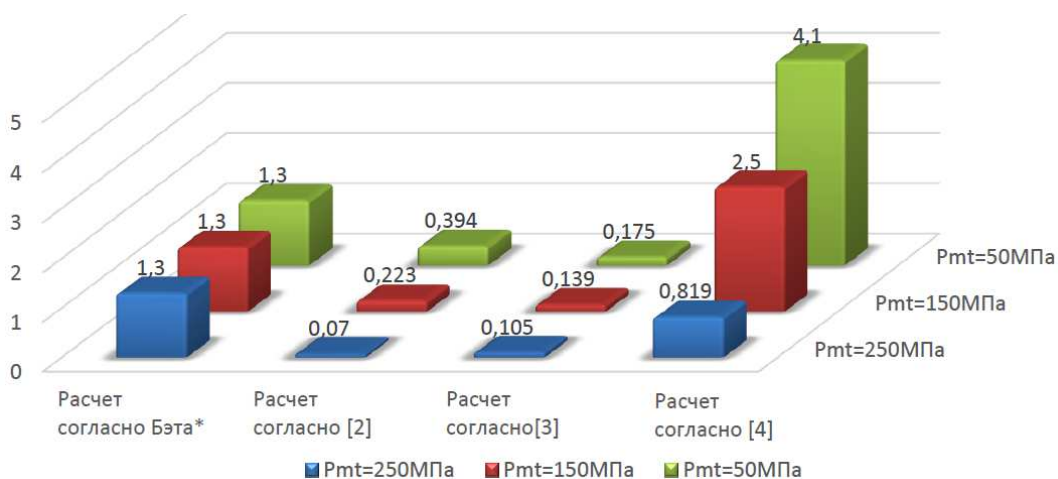
Рисунок 4. –Сравнение результатов расчета ширины раскрытия трещин по различным методикам с опытными данными по [7]



\* – расчет в программном продукте **Betta+**

**Рисунок 5. – Сравнение результатов расчета прогибов по различным методикам с опытными данными по [7]**

В качестве исходных данных для третьего численного эксперимента использованы данные, соответствующие условному предварительно напряженному элементу при различных уровнях предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры: изгибаемый элемент, прямоугольного сечения, с размерами 200×300мм, армированный в растянутой зоне 4Ø12мм стеклопластиковой арматуры с характеристиками:  $f_t=1045\text{МПа}$ ,  $E_f=55000\text{МПа}$ . Бетон класса С30/37. Расчет производили для трех различных уровней предварительного напряжения арматуры: 250МПа, 150МПа и 50МПа. Результаты расчета ширины раскрытия трещин по рассматриваемым методикам показаны на рис. 6.



\* – расчет в программном продукте **Betta+**

**Рисунок 6. – Сравнение расчетной ширины раскрытия трещин изгибаемых элементов с предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой по различным методикам при различных уровнях предварительного напряжения арматуры**

Анализ выполненных расчетов и сопоставления с опытными данными позволил сделать следующие выводы:

1. Расчет ширины раскрытия трещин и деформаций изгибаемых стеклопластбетонных элементов без предварительного напряжения, основанный на общем деформационном методе, и реализованный в программном продукте BETAPLUS дает наибольшее приближение к опытным данным. Ширина раскрытия трещин, предшествующая моменту разрушения образца, рассчитанная в данном программном комплексе отличалась от опытных данных на величину, от 14,8% до 43%, прогибы – на величину от 14,7% до 52,3%. Однако, расчет в программном продукте BETAPLUS с заданием в качестве исходных данных фактических диаграмм деформирования стеклопластиковой арматуры, не позволяет оценить влияние предварительного напряжения элементов на их трещиностойкость и деформативность.

2. Анализ опытных и расчетных данных ширины раскрытия трещин и прогибов изгибаемых стеклопластбетонных элементов по различным методикам, основанным на упрощенной модели, показал, что наибольшее приближение к опытным данным дает расчет по методике [3], согласно которой расчетная ширина раскрытия трещин превышала опытную ширину раскрытия на величину от  $\approx 10,64\%$  до  $\approx 18,8\%$ , прогибы превышали опытные значения на величину от  $\approx 35,29\%$  до  $\approx 63\%$ .

3. Следует отметить на необходимость проведения экспериментальных исследований трещиностойкости и деформативности предварительно напряженных изгибаемых элементов со стеклопластиковой арматурой, без которых невозможно оценить достоверность предлагаемых методик расчета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and rules: EN 1992-1-1:2004, Eurocode 2. – CEN, 2004.
2. Рекомендации по проектированию конструкций из напрягающего бетона с композитной арматурой. – Минск, НИПТИС, 2014.
3. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой: Р-16-78. – Москва: НИИЖБ, 1978.
4. CNR-DT 203/2006 Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars. – Rome, Italy, 2006.
5. Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования: СП 63.13330-2012. – Москва, 2013.
6. Фролов, Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. – Москва: Стройиздат, 1980.
7. Волик, А.Р. К вопросу замены металлической арматуры на стеклопластиковую в изгибаемых бетонных балках / А.Р.Волик, Е.К.Волик // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: материалы XX международного науч. – метод. семинара / М-во образования Респ. Беларусь, ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: В.Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2016. – С. 19–22.
8. Почебыт, А.А. Железобетонные балки с комбинированным армированием / А.А. Почебыт // Наука – 2017 : сборник научных статей. В 2 ч. Ч. 1 / Учреждение образования «Гродненский гос. ун-т им. Я.Купалы». – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2017. – С.328–330.

УДК 691:620.179.1

### ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА И МАРКИ СТАЛИ АРМАТУРЫ НА ЕЕ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

**Г.С. Чикулаев**

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: chikulaevgs@mail.ru

*Представлены результаты экспериментальных исследований влияния диаметра и марки стали арматуры на показания прибора, позволяющего определить степень коррозионного состояния арматуры в железобетоне неразрушающим методом. В основе данного метода неразрушающего контроля коррозионного состояния арматуры железобетонных изделий и конструкций лежит то что в определенной области генерируемых частот ферромагнитные свойства самой стали и продуктов ее коррозии различаются. В связи с этим целью проведенных экспериментов было выявление зависимостей при использовании прибора, основанного на частотно-ферромагнитном методе оценки коррозионного состояния арматуры.*

**Ключевые слова:** Коррозия арматуры, прибор, неразрушающий метод, диаметр арматуры, марка стали.

### INFLUENCE OF THE DIAMETER AND THE GRADE OF THE CONCRETE STEEL ON ITS FERROMAGNETIC PROPERTIES

**G. Chikulaev**

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: chikulaevgs@mail.ru

*The article presents the results of experimental studies of the influence of the diameter and grade of the concrete steel on the instrument readings, which allows to determine the degree of corrosion state of reinforcement in reinforced concrete by a non-destructive method. The basis of this method of non-destructive testing of the corrosion state of reinforcement of reinforced concrete products and structures lies in the fact that in a certain region of the generated frequencies the ferromagnetic properties of the steel itself and its corrosion products differ. In this regard, the purpose of the experiments was to identify dependencies when using a device based on the frequency difference-ferromagnetic method for assessing the corrosion state of reinforcement.*

**Keywords:** Corrosion of reinforcement, device, non-destructive method, diameter of reinforcement, steel grade.

**Введение.** Железобетон – это строительный материал, который позволяет возводить различные здания и сооружения. Большинство железобетонных конструкций и сооружений возведенных в начале XX века хорошо сохранились до наших дней, что характеризует железобетон как достаточно долговечный материал. Но к сожалению, известны так же случаи как частичного так и полного разрушения железобетонных



конструкций. Чаще всего разрушение конструкций было вызвано воздействием внешних факторов. Разрушение конструкций может протекать по двум схемам. По первой схеме вначале следует разрушение бетона, который выполняет защитные функции по отношению к арматуре расположенной внутри тела бетона. После разрушения защитного слоя бетона происходит разрушение арматуры и последующего разрушения всей конструкции. По второй схеме вначале происходит разрушение арматуры, с последующим разрушением бетона. Арматура вызывает разрушение бетона из-за того, что в процессе коррозии выделяется ржавчина, которая в 2-3 раза занимает больший объем чем первоначальная арматура [1,4]. Данный процесс разрушения ржавчиной бетона является механическим. Коррозионное разрушение арматуры может проходить в виде (общей) коррозии, которая охватывает всю поверхность металла и бывает равномерной или неравномерной по глубине или местной коррозии, поражающей лишь отдельные участки поверхности арматуры (пятна, язвы, коррозионные трещины) [2,5]. Наиболее опасна коррозия, которая развивается вглубь арматуры, а не по поверхности, данный вид коррозии является питтинговой. С ростом объема ржавчины, растет количество трещин на поверхности конструкций, в результате растет скорость протекания коррозии арматуры и последующего разрушения конструкции.

На начальной стадии процесс разрушения арматуры визуально не виден, так как арматура расположена в массиве конструкции. Поэтому существует необходимость в оценивании коррозионного состояния арматуры в конструкции неразрушающим способом. На данный момент на кафедре «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ разработан частотный разностно-ферромагнитный метод оценки коррозионного состояния арматуры. Данный метод основан на том что в определенной области генерируемых частот ферромагнитные свойства самой стали и продуктов ее коррозии различаются [3]. И этот факт позволяет установить зависимости ухода частоты от коррозионных потерь стали. На основе данного метода разрабатывается прибор «измеритель степени коррозии арматуры» (ИСКА), позволяющий осуществлять две функции – вначале устанавливается толщина защитного слоя бетона, а уже с ее учетом – степень коррозии арматуры.

Точность оценки коррозионного состояния арматуры (степени ее поражения) данным прибором непосредственно зависит от различных факторов, связанных с состоянием арматуры (наличие или отсутствие коррозии, разновидности образующихся продуктов коррозии и плотности коррозионных «новообразований») в бетоне, особенностями ее химического состава (содержанием в железе углерода и легирующих добавок, отражаемого маркой стали), различием в диаметре сечения арматурных элементов, а также толщины защитного слоя бетона конструкции.

**Влияние диаметра и марки стали арматуры на ее ферромагнитные свойства.** Для выявления оказываемого влияния диаметра арматуры на ее ферромагнитные свойства были проведены испытания. Из арматурной стали Ст.3, Ст.5 с начальным диаметром 30 мм были изготовлены стержни (по три стержня для удобства эксперимента) следующих диаметров: 2мм, 4мм, 6мм, 8мм, 10 мм, 12мм, 14мм, 16мм, 18 мм, 20мм, 24мм и 30 мм с длиной 300 мм. Данные стержни поочередно устанавливались по центру площадки и при помощи датчика прибора ИСКА, устанавливаемого на оргстекло, снимались показания измерительного прибора на каждом стержне. В результате были получены следующие данные (таблица 1).

Таблица 1. – Влияние диаметра и марки стали на измерение степени коррозии

Диаметр стержня, мм	Сталь Ст.3		Сталь Ст.5	
	Показания прибора $x_i$ , мг	$ \bar{x} - x_i $ , мг	Показания прибора $x_i$ , мг	$ \bar{x} - x_i $ , мг
2	49	9,7	51	9,8
4	50	8,7	52	8,8
6	51	7,7	53	7,8
8	52	6,7	54	6,8
10	53	5,7	55	5,8
12	55	3,7	57	3,8
14	57	1,7	59	1,8
16	59	0,3	61	0,2
18	61	2,3	63	2,2
20	64	5,3	66	5,2
24	70	11,3	73	12,2
30	83	24,3	85	24,2

Как видно из полученных данных мы получили разброс показаний в пределах 12–15% в связи с изменением диаметра образцов.

Для стали Ст.3 среднее арифметическое показаний прибора для разных диаметров стали получилось равным 58,7 мг. В результате погрешность измерения прибором ИСКА, учитывающая разные диаметры для стали Ст.3, составила:

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n |x - x_i|}{n} = \frac{87,4}{12} = 7,28 \text{ мг.} \quad (1)$$

Для стали Ст.5 среднее арифметическое показаний прибора для разных диаметров стали получилось равным 60,8 мг, а погрешность измерения прибором ИСКА, учитывающая разные диаметры для стали Ст.5 составила:

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n |x - x_i|}{n} = \frac{88,6}{12} = 7,38 \text{ мг.} \quad (2)$$

Из графика рисунка 3.5 следует, что при изменении диаметра арматуры от 2 до 10 мм показания прибора существенно не изменяются. Сравнительно малая погрешность измерений при изменении диаметра арматуры в пределах 2-10 мм объясняется, в первую очередь, относительно небольшим изменением зазора между датчиком и измеряемым стержнем.

В пределах изменения диаметра 12-30 мм погрешность измерений существенно возрастает вследствие двух причин: во-первых, значительного уменьшения зазора между датчиком и измеряемым стержнем и, во-вторых, резкого возрастания (из-за большой массы стержня) вносимых в контур измерительного генератора активных потерь, т.е. за счет уменьшения добротности контура.

Для изучения влияния вида и марки арматуры на ее ферромагнитные свойства были взяты стержни арматуры Ст.3, Ст.5, 35ГС, 18Г2С и 25Г2С диаметром 10мм и длиной 300мм.

Данные стержни поочередно устанавливались по центру площадки и при помощи датчика, устанавливаемого на оргстекло, снимались показания измерительного прибора на каждом стержне. В результате были получены следующие данные (таблица 2).

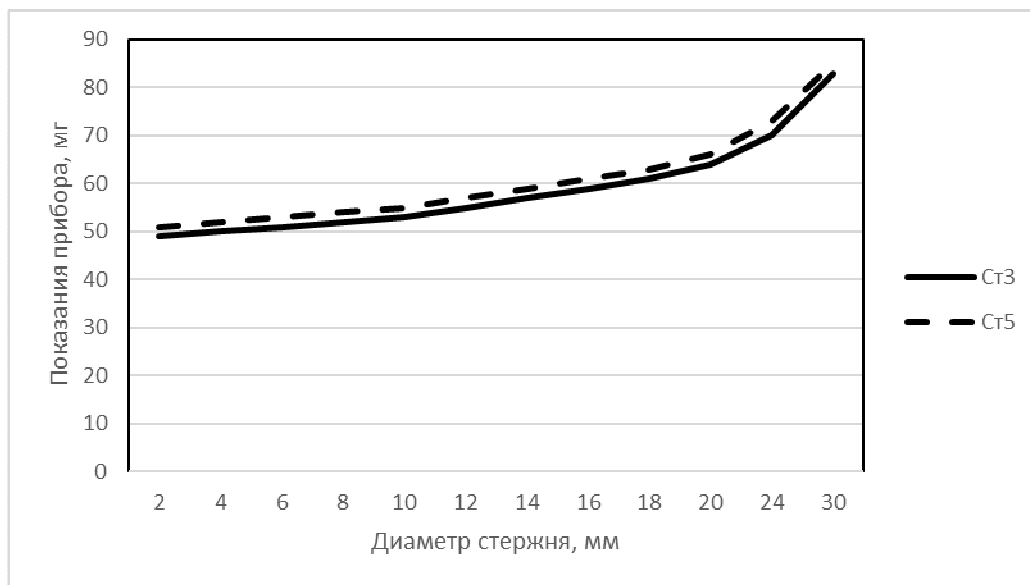


Рисунок 1. – Влияние диаметра стержня и марки стали на показания прибора

Таблица 2. – Влияние марки стали на измерение степени коррозии

Марка стали	Показания прибора $x_i$ для образца, мг					Среднее арифметическое показаний прибора, мг
	№1	№2	№3	№4	№5	
Ст.3	64	62	63	62	64	63,0
Ст.5	66	68	67	66	65	66,4
35ГС	71	72	72	71	72	71,6
18Г2С	73	74	75	74	74	75,0
25Г2С	76	77	77	78	80	77,6

Как видно из полученных данных начальные показания прибора для стержней из углеродистых и легированных сталей 35ГС, 18Г2С, 25Г2С были выше, чем для обычных конструкционных Ст.3, Ст.5. Это можно объяснить тем что электропроводность стали тем ниже, чем выше содержание углерода, перешедшего в твердый раствор. Аналогичное действие оказывают легирующие добавки. Поэтому в случае исследования углеродистых и легированных сталей, благодаря меньшим потерям на вихревые токи магнитная проницаемость их будет выше, чем для широко применяемых обычных конструкционных сталей Ст.3 и Ст.5.

**Заключение.** Проведенные эксперименты выявили что диаметр арматуры оказывает влияние на ферромагнитные свойства арматуры, так с увеличением диаметра увеличивается и показания прибора из-за резкого возрастания вносимых в контур измери-

тельного генератора активных потерь. Так же было выявлено что арматура из углеродистых и легированных сталей оказывает большее влияние на показания прибора чем конструкционные.

Проведенные эксперименты по выявлению влияния диаметра и марки стали арматуры, оказываемого на показания прибора ИСКА, позволяют сделать вывод в перспективности использования прибора, основанного на частотном разностно-ферромагнитном методе оценки. Но необходимо дальнейшие проведения экспериментов для наработки большего массива данных которые позволят определять коррозионное состояние арматуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне / С.Н. Алексеев. – Москва: Стройиздат, 1968. – 233 с.
2. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах/ С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссль. – Москва: Стройиздат, 1990. – 320 с.
3. Барташевич, А.А. Новый неразрушающий метод контроля степени коррозии стальной арматуры / А.А. Барташевич, Л.Я. Френкель, В.В. Бабицкий // Бетон и железобетон. –1974. – № 12. – С. 36-38.
4. Жарский, И.М. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования / И.М. Жарский, Н.П. Иванова, Д.В. Куис, Н.А. Свидуневич. – Минск: Высшая школа, 2012. – 303 с.
5. Пухонто, Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений / Л.М. Пухонто. – Москва: Издательство АСВ, 2004. – 424 с.

УДК 624.04

## О РАСЧЕТЕ СЖАТО-ИЗОГНУТОГО СТЕРЖНЯ С УЧЕТОМ РАЗНОМОДУЛЬНОСТИ МАТЕРИАЛА

**Л.С. Турищев**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: lst41@mail.ru

*Рассматривается сжато-изогнутый стержень. Материал стержня характеризуется различными модулями упругости при растяжении и сжатии. Получено дифференциальное уравнение оси сжато-изогнутого стержня. Найдены формулы для определения параметров напряженно-деформированного состояния в произвольном сечении.*

**Ключевые слова:** модуль упругости при растяжении, модуль упругости при сжатии, билинейная диаграмма, коэффициент разномодульности, сжато-изогнутый стержень.

## ABOUT CALCULATION OF A ROD UNDER COMBINED AXIAL AND LATERAL LOADS TAKING INTO ACCOUNT THE DIFFERENT ELASTIC MODULUS OF MATERIAL

**L. Turishchev**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: lst41@mail.ru

*A rod is considering under combined axial and lateral loads. Material of a rod has different elastic modules under tension and compression. The differential equation of an axis of a rod subjected to combined axial and lateral loads is obtaining. Formulas for determining the parameters of stress-strain state in an arbitrary section are founding.*

**Keywords:** rod under combined axial and lateral loads, modulus of elasticity in tension, modulus of elasticity under compression, bilinear diagram, coefficient of diversity/

В линейной теории расчета стержневых конструкций конструкционный материал, как правило, считается однородным изотропным упругим телом, поведение которого описывается модулем упругости  $E$  одинаковым при растяжении и сжатии. Однако, как показывают экспериментальные исследования модули упругости при растяжении и сжатии для ряда современных конструкционных материалов могут существенно различаться [1]-[3].

Академиком Амбарцумяном С.А. была построена феноменологическая теория, описывающая поведение разномодульного материала и предлагающая общие методы решения задач теории упругости из такого материала [4]. Поведение разномодульного материала описывается билинейной диаграммой  $\sigma - \varepsilon$  с различными модулями упру-

гости при растяжении  $E^+$  и сжатии  $E^-$ . Степень разномодульности конструкционного материала характеризуется коэффициентом

$$\mu = \frac{E^-}{E^+}. \quad (1)$$

Расчеты отдельного стержня с учетом разномодульности материала при некоторых простейших видах нагружения были выполнены рядом авторов и сводка основных результатов решения этих задач приведена в [4].

Рассматривается прямолинейный гибкий сжато-изогнутый стержень, нагруженный постоянной продольной силой и поперечной нагрузкой (рис.1)

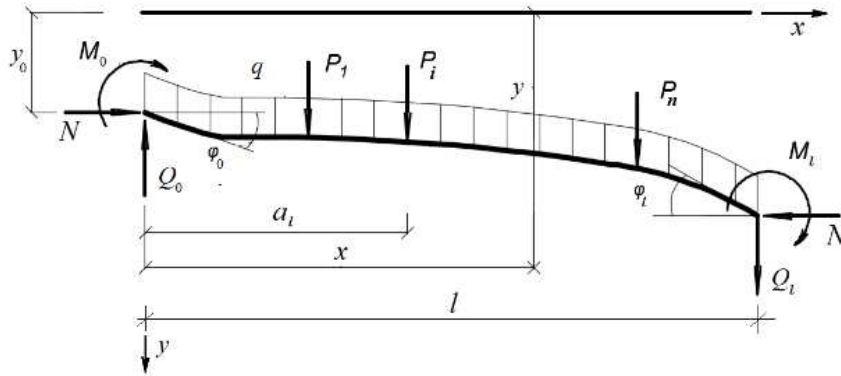


Рисунок 1. – Сжато-изогнутый стержень

Принимается, что стержень выполнен из разномодульного материала. Поперечное сечение стержня симметричное произвольной формы (рис. 2).

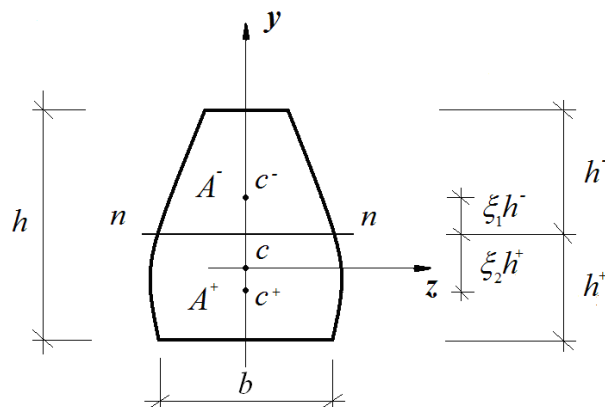


Рисунок 2. – Симметричное поперечное сечение стержня

где  $A^-$  - площадь сжатой части сечения с центром тяжести в точке  $c^-$ ;  $A^+$  - площадь растянутой части сечения с центром тяжести в точке  $c^+$ . Общая площадь поперечного сечения  $A = A^- + A^+$ .

Напряженно-деформированное состояние (НДС) стержня в начале координат характеризуется начальными параметрами

$$y(0) = y_0, y'(0) = y'_0, M(0) = M_0, Q(0) = Q_0.$$

Для описания прогибов рассматриваемого сжато-изогнутого стержня используем приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня с учетом разномодульности материала [6]

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M(x)}{D(x)}, \quad (2)$$

где  $M(x)$  - изгибающий момент в произвольном сечении;  $D(x)$  - изгибная жесткость поперечного сечения стержня с учетом влияния разномодульности материала.

Входящий в (2) изгибающий момент  $M(x)$ , для рассматриваемой схемы нагружения стержня описывается выражением

$$M(x) = M_0 + Q_0 x + N[y(x) - y_0] - \sum P_i(x - a_i) - \frac{qx^2}{2}. \quad (3)$$

Входящая в (2) величина  $D(x)$ , связана с обычной изгибной жесткостью поперечного сечения  $EI_z$  соотношением [5]

$$D = \frac{EI_z}{\zeta}, \quad (4)$$

где  $\zeta$  - коэффициент влияния разномодульности конструкционного материала на изгибную жесткость поперечного сечения. Для симметричного поперечного сечения произвольной формы он описывается выражением

$$\zeta = \frac{I_z}{I^+(x) + \mu I^-(x)},$$

где  $I^-(x)$  и  $I^+(x)$  характеризуют моменты инерции, соответственно, сжатой и растянутой частей поперечного сечения относительно нейтральной оси.

С учетом (3), (4) уравнение (2) примет вид

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \zeta \frac{N}{EI_z} y = -\frac{\zeta}{EI_z} \left[ M_0 + Q_0 x - Ny_0 - \sum P_i(x - a_i) - \frac{qx^2}{2} \right]. \quad (5)$$

Полученное уравнение (5) описывает изогнутую ось гибкого сжато-изогнутого стержня с учетом разномодульности его материала. Общее решение уравнения имеет вид

$$y(x) = C_1 \cos \sqrt{\zeta} nx + C_2 \sin \sqrt{\zeta} nx + y^*(x), \quad (6)$$

где  $n = \sqrt{\frac{N}{EI_z}}$ ;

$y^*(x)$  - частное решение неоднородного уравнения

$$y^*(x) = y_0 - \frac{M_0 + Q_0 x}{n^2 EI_z} + \frac{\sum_i P_i}{n^3 EI_z} \left[ \sqrt{\zeta} n(x - a_i) - \sin \sqrt{\zeta} n(x - a_i) \right] - \frac{q}{n^4 EI_z} \left[ \left( 1 - \frac{\zeta n^2 x^2}{2} \right) - \cos \sqrt{\zeta} nx \right].$$

Произвольные  $C_1, C_2$  определяются из граничных условий на левом конце стержня

$$y(0) = y_0;$$

$$y'(0) = y'_0.$$

Используя эти условия, найдем

$$C_1 = \frac{M_0}{n^2 EI_z}, \quad C_2 = \frac{1}{\sqrt{\zeta} n} \left( \varphi_0 + \frac{Q_0}{n^2 EI_z} \right). \quad (7)$$

Подставляя (7) в общее решение (6), получим формулу для прогибов сжато-изогнутого стержня

$$y(x) = y_0 + y'_0 \frac{\sin \sqrt{\zeta} nx}{\sqrt{\zeta} n} + \frac{M_0}{n^2 EI_z} (\cos \sqrt{\zeta} nx - 1) + \frac{Q_0}{n^3 EI_z} \left( \frac{\sin \sqrt{\zeta} nx}{\sqrt{\zeta}} - nx \right) + y_p(x), \quad (8)$$

Дифференцируя последовательно (8), получим формулы для углов поворота, изгибающих моментов и поперечных сил сжато-изогнутого стержня

$$y'(x) = y'_0 \cos \sqrt{\zeta} nx - \frac{M_0}{n EI_z} \sqrt{\zeta} \sin \sqrt{\zeta} nx + \frac{Q_0}{n^2 EI_z} (\cos \sqrt{\zeta} nx - 1) + y'_p(x);$$

$$M(x) = y'_0 \frac{EI_z}{\sqrt{\zeta}} n \sin \sqrt{\zeta} nx + M_0 \cos \sqrt{\zeta} nx + Q_0 \frac{\sin \sqrt{\zeta} nx}{n \zeta} + M_p(x); \quad (9)$$

$$Q(x) = y'_0 EI_z n^2 \cos \sqrt{\zeta} nx - M_0 \sqrt{\zeta} n \sin \sqrt{\zeta} nx + Q_0 \frac{\cos \sqrt{\zeta} nx}{\sqrt{\zeta}} + Q_p(x).$$

В формулах (8), (9), позволяющие находить параметры НДС в произвольном сечении сжато-изогнутого стержня с учетом влияния разномодульности конструкционного материала, величины  $y_p(x), y'_p(x), M_p(x), Q_p(x)$  характеризуют влияние пролетной нагрузки на соответствующий параметр НДС

$$y_p(x) = \frac{1}{n^3 EI_z} \sum_i P_i \left[ \sqrt{\zeta} n(x - a_i) - \sin \sqrt{\zeta} n(x - a_i) \right] - \frac{q}{n^4 EI_z} \left[ \left( 1 - \frac{\zeta n^2 x^2}{2} \right) - \cos \sqrt{\zeta} nx \right];$$

$$y'_p(x) = \frac{\sqrt{\zeta}}{n^2 EI_z} \sum_i P_i \left[ 1 - \cos \sqrt{\zeta} n(x - a_i) \right] + \frac{q}{n^3 EI_z} \left[ \zeta nx - \sin \sqrt{\zeta} nx \right];$$

$$M_p(x) = -\frac{1}{n} \sum_i P_i \sin \sqrt{\zeta} n(x - a_i) - \frac{q}{\zeta n^2} \left[ \zeta - \sqrt{\zeta} \cos \sqrt{\zeta} nx \right];$$

$$Q_p(x) = -\zeta \sum_i P_i \cos \sqrt{\zeta} n(x - a_i) - \frac{q}{n} \sin \sqrt{\zeta} nx.$$



Дифференциальное уравнение (5) и формулы (8), (9) позволяют получать решения задач расчета сжато-изогнутых стержней для различных схем опирания с учетом разномодульности конструкционного материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, Г.П. Исследование несовершенной упругости металлов: автореферат диссертации, канд. тех. наук: 05.23.01 / Г.П. Иванов; Белорусский политехнический институт. – Минск. – 1973. – 24 с.
2. Авхимков, А.П. Об уравнениях обобщенного закона упругости материалов, разносопротивляющихся растяжению и сжатию и некоторых их приложениях: автореферат диссертации, канд. тех. наук: 05.23.01 / А.П. Авхимков; Московский инженерно-строительный институт. – Москва. – 1975. – 28 с.
3. Ершова, А.Ю. Экспериментальное исследование разномодульных полимерных композитов с мелкодисперсным наполнителем / А.Ю. Ершова, М.И. Мартиросов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружения. – 2015. – №5. – С.68-71
4. Амбарцумян, С.А. Разномодульная теория упругости / С.А. Амбарцумян. – Москва : Физматгиз, 1982. – 317 с.
5. Турищев, Л.С. К вопросу о расчете стержневых конструкций с учетом влияния разномодульности материала / Л.С. Турищев // Вестник ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2010. – №2. – С.63-67.

УДК 699.841

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ЗДАНИЙ, ВОЗВЕДЕННЫХ ИЗ МАЛОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**С.Ж. Раззаков, З.Х. Холбоев, И.М. Косимов**

Наманганский инженерно-строительный институт, Республика Узбекистан

e-mail: sobirjonrsj@gmail.com

*Приведены структура текстового файла программы «SEISM-STAB-BUILDING» с описанием конечно-элементной модели и блок – схема, а также пример использования разработанного программного комплекса.*

**Ключевые слова:** динамические характеристики, электронно-вычислительная программа, пространственный модель, частота, период колебаний, форма колебаний, сейсмическая нагрузка, перемещение, метод конечных элементов, прочность здания, землетрясение.

## DETERMINATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A BUILDING MODEL ESTABLISHED FROM LOW-STRENGTH MATERIALS

**S. Razzakov, Z. Holboev, I. Kosimov**

Namangan Engineering-Construction Institute, Republic of Uzbekistan

e-mail: sobirjonrsj@gmail.com

*The article is informed about the structure of textual file program “SEISM-STAB BUILDING” with describing final-element models and block-scheme, and also given an example for using developed softwarefacility.*

**Keywords:** dynamic characteristics, computer program, spatial model, frequency period oscillation, shape of oscillation, seismic charging, shifting (movement), method of final element, stability of building.

**Введение.** В период интенсивного развития современного строительства и активизации сейсмических процессов вопросы сейсмостойкости зданий и сооружений, обеспечение и оценка их конструкционной и сейсмической безопасности считаются наиболее актуальными. В развитых странах в этом направлении достигнуты определенные успехи, особое внимание при проектировании уделяется разработке конструктивных решений, антисейсмических мероприятий, а также совершенствованию методов расчёта, обеспечивающих прочность и сейсмостойкость зданий и сооружений.

Исходя из-за актуальности данного направления, авторами разработана программа расчета предназначенная для определения сейсмостойкости зданий из местных материалов на основе использования пространственной конечно-элементной модели здания. В результате выполнения программ определяются динамические характеристики - собственные частоты и соответствующие им пространственные фор-

мы колебаний здания. По характеру получаемых форм, участвующих в формировании сейсмической нагрузки, определяются перемещения и компоненты напряжений в стенах здания, а их анализ позволяет судить о прочности конструкции при различной интенсивности сейсмического воздействия. В программы заложен численный метод конечных элементов, позволяющий учитывать конструктивные особенности и различную степень конечно-элементной дискретизации.

**Основная часть.** Комплекс состоит из отдельных программ (модулей), которые необходимо запускать в определенной последовательности, начиная с создания расчетной модели. Язык программирования - Фортран; общий объем памяти - 9 файлов на электронном носителе 454,325 КБ.

Создание расчетной модели осуществляется с использованием текстового файла, содержащего описание конечно-элементной модели. Приведенный файл предназначен для формирования конечно-элементной дискретизации модели здания. В нем вводятся исходные данные (геометрия модели, характеристики материала конструкции), выбираются элементы дискретизации (в данном случае – прямоугольные) и производится разбиение модели на конечные элементы. При этом учитываются граничные условия.

После дискретизации модели по стандартной процедуре определяются матрицы жесткости и масс, необходимые для получения разрешающих уравнений, из которых определяются перемещения узлов. По полученным перемещениям узлов с помощью уравнений Коши находятся компоненты деформации. И далее – по закону Гука, - напряжения во всех элементах модели (здания). По полученным напряжениям делается вывод о прочности или, напротив, недостаточной прочности конструкции (стен, перекрытий) [1,2].

Прочность здания при землетрясениях оценивается по напряженно-деформированному состоянию его фрагментов при сейсмической нагрузке по формуле:

$$S_{ik} = K_0 K_n K_{эм} K_p \alpha Q_k W_i K_\delta \eta_{ik} \quad (1)$$

где

$K_0=1$ ;  $K_n=1,2$ ;  $K_{эм}=1$ ;  $K_p=1$  (значения коэффициентов устанавливаются по [3]);

$\alpha$  – сейсмический коэффициент (0,25 – 7 баллов, 0,5 - 8 баллов, 1,0 - 9 баллов);

$Q_k$  – вес, приходящийся на  $k$ -ый узел;

$W_i$  - спектральный коэффициент, определяемый по п.2.14 [3];

$K_\delta$  - коэффициент диссипации, определяемый по п.2.16 [3];

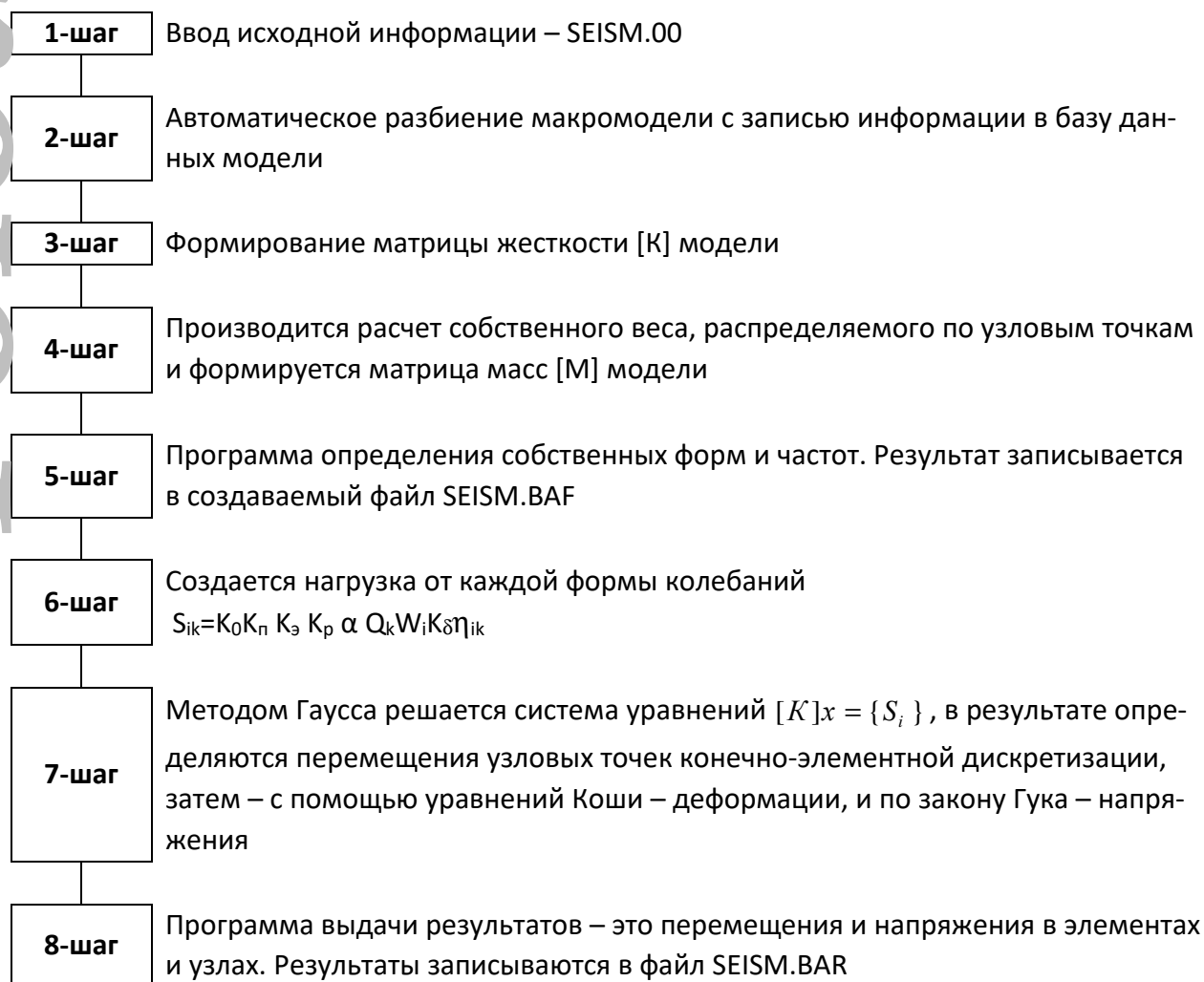
$\eta_{ik}$  - коэффициенты собственных форм, полученные при решении задачи на собственные значения.

Ниже представлена блок-схема программного комплекса. Первые два шага в блок-схеме содержат описанный выше файл с вводом исходной геометрии и конечно-элементной дискретизации модели здания. На третьем и 4-ом шаге формируются матрицы масс и жесткости модели. На 5-ом – определяются частоты, периоды и формы собственных колебаний. По сформированной сейсмической нагрузке (1) (шаг 6) фор-

мируется правая часть линейной системы уравнений, которая решается методом Гаусса (7 шаг) и выдаются результаты перемещений и компонент напряжений в элементах конструкции.

Последовательность работы и описание исполняемых функций описаны в ниже приводимой блок-схеме:

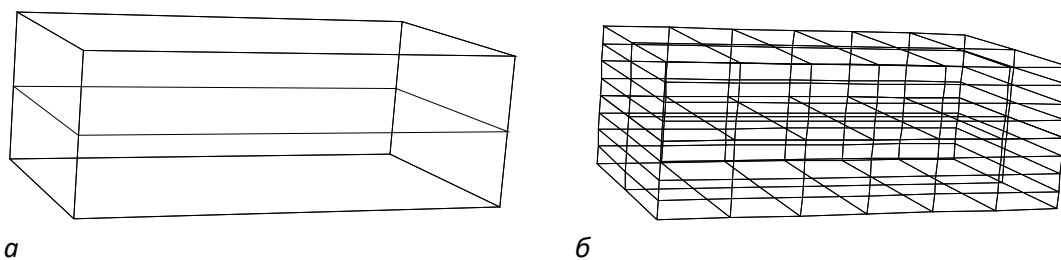
*Блок-схема работы комплекса SEISM-STAB-BUILDING*



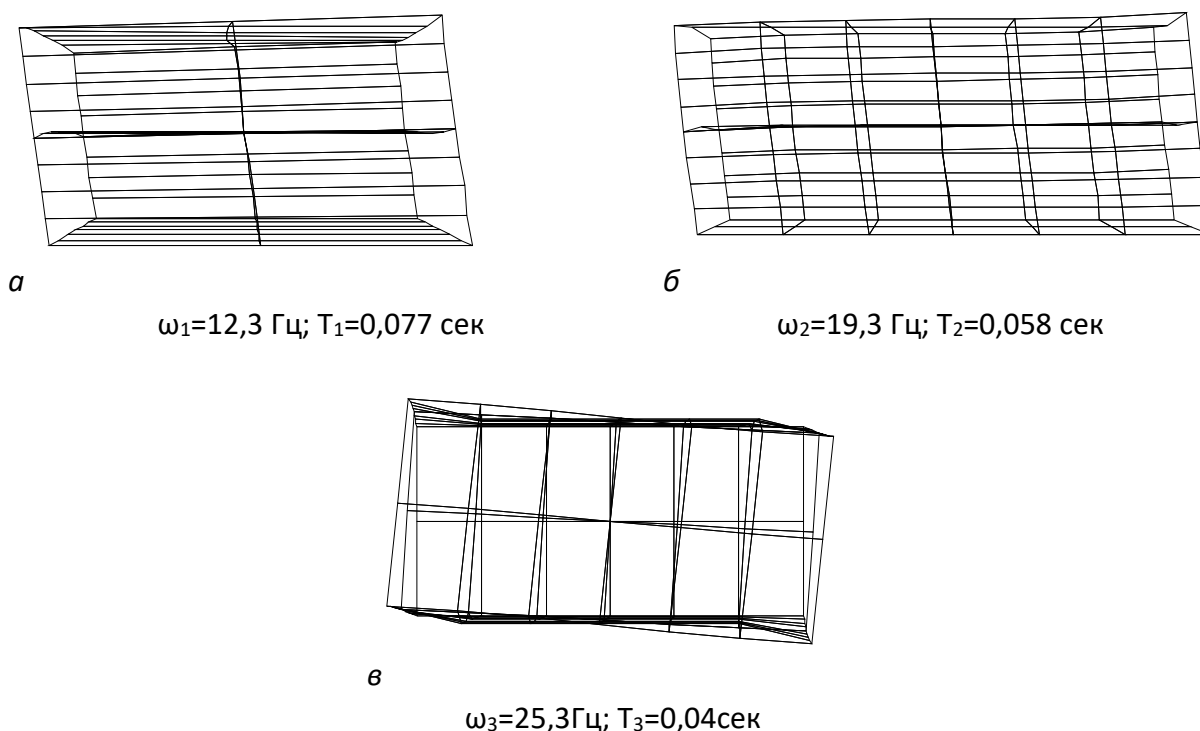
Ниже приведены результаты расчета прямоугольной двухэтажной модели здания, полученные с использованием комплекса SEISM-STAB-BUILDING.

Пример использования разработанного комплекса. На рисунке 1, а представлена исходная модель двухэтажного здания. Его реальная геометрия задается выполнением первого шага, указанного на блок-схеме. На рисунке 1, б – результат выполнения второго шага, представляющего автоматическое разбиение исходной модели на прямоугольные конечные элементы.

После формирования матриц масс и жесткости (3 и 4 шаги) и решения однородной системы (5-шаг) получены три формы и соответствующие собственные частоты, показанные на рис. 2 (а-в) в разных ракурсах.



**Рисунок 1. – Исходная модель здания (а) и ее конечно-элементная дискретизация прямоугольными элементами (б)**



первая (поперечный сдвиг - а); вторая (продольный сдвиг - б); третья (кручение - в)

**Рисунок 2. – Собственные частоты и соответствующие формы колебаний**

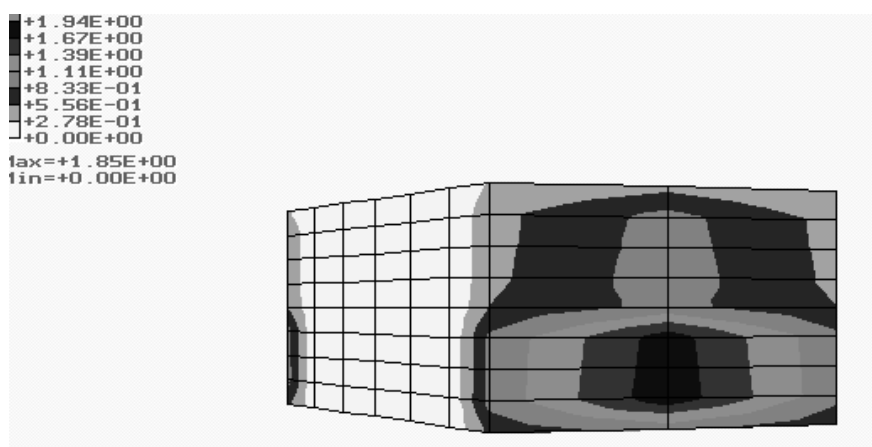
В результате выполнения 6-го шага создается нагрузка от каждой формы колебаний, номер которой совпадает с номером формы.

По приложенной нагрузке определяются перемещения в узлах (7-шаг), по формулам Коши – деформации и по ним – напряжения в элементах по закону Гука.

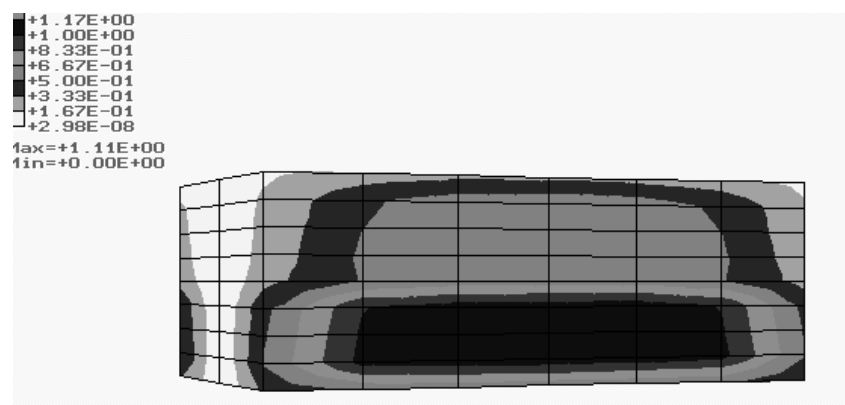
Результаты выдаются (8-шаг) в файле SEISM.BAR, где указан номер узла, его линейные перемещения (три значения по осям) и углы поворота (три значения); затем номер узла; нормальные напряжения (три значения – по осям X,Y,Z) касательные (три - в плоскостях XY, YZ и ZX), главные (три) и эквивалентные напряжения.

На рис.3 показаны касательные напряжения в стенках при первой форме колебаний здания - при поперечном изгибе (рис.3а) и второй форме – продольных колебаниях

(рис.3б). В левом верхнем углу каждого рисунка указаны значения напряжений в зависимости от окраски участка, а также максимальные и минимальные значения напряжений. Результаты показывают максимальные значения напряжений (1,85 МПа) на торцах здания при первой форме колебаний (рис.3а) и 1,11 МПа на продольных стенах – при второй (рис.3б). Далее полученные значения сравниваются с расчетными сопротивлениями кладки срез, на основе чего делается вывод о прочности стен и перекрытий.



а



б

**Рисунок 3. – Поля распределений касательных напряжений в стенах здания при первой (а) и второй (б) формам колебаний, полученные с применением комплекса программ SEISM-STAB-BUILDING**

**Заключение.** Расчеты показали, что максимальные значения сдвиговых напряжений в стенах здания составляют 1,85 МПа (для первой формы) и 1,11 МПа (для второй). Учет поправочных коэффициентов и интенсивности сейсмического воздействия, например, 7 баллов, в формуле сейсмической нагрузки (1) позволяет скорректировать полученные напряжения. Для первой формы это будет 0,78 МПа, для второй - 0,625 МПа.

Максимальные расчетные сопротивления на срез для стен кирпичной кладки составляют 0,8 МПа и 0,65 МПа. Для кладки камней и растворов более низких марок рас-

четные сопротивления не превышают 0,5 МПа, а значит в стенах нижнего этажа возможно появление трещин при 7-балльном землетрясении, а тем более при более интенсивных воздействиях. Это необходимо учитывать при строительстве.

Проведенный расчет выполнен на основе использования разработанного комплекса программ.

Таким образом, изложены методика, алгоритм и программа статического расчета напряженно-деформированного состояния и расчета на сейсмические воздействия, предусматривающие определение собственных частот и форм колебаний пространственных моделей индивидуальных зданий с элементами усиления - каркасом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Razzakov, S.J. Experimental and theoretical approach to the determination of physical and mechanical characteristics of the material of the walls of the low-strength materials [Text] / S.J. Razzakov // European Science Review-Austria, 2016. – №7–8. – P. 215–216.
2. Раззаков, С.Ж. Исследование напряженно-деформированного состояния одноэтажной постройки с внутренней перегородкой при статической оттягивающей нагрузке по верхнему поясу строения [Текст] / С.Ж. Раззаков // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – Москва, 2016. – № 6. – С. 14–19.
3. Строительство в сейсмических районах: КМК 2.01.03-96. – Т.: Госкомархитектстрой, 1996. – 65 с.

УДК 624.131

**ВЛИЯНИЕ ОКАТАННОСТИ ЗЁРЕН ГРУНТА НА ЕГО ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА****А.П. Кремнёв, Н.Н. Вишняков, О.А. Дубовик, М.М. Парусова***Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь**e-mail: n.vishniakov@psu.by; 15pgs1.dubovik.v@pdu.by*

*В данной статье приведены результаты определения окатанности зёрен песка мелкого различной формации с помощью микроскопа Altami Met 5C и программного обеспечения Altami Studio. Далее с помощью прибора одноплоскостного среза испытательного комплекса АСИС определены прочностные характеристики каждого из рассматриваемых образцов, и установлено влияние окатанности на прочностные характеристики песка.*

**Ключевые слова:** *песчаный грунт, окатанность зёрен грунта, дилатансия, прочностные свойства грунта.*

**INFLUENCE OF ROUNDNESS OF PARTICLES SAND SOIL ON IT'S STRENGTH PROPERTIES****A. Kremnev, N. Vishnyakov, O. Dubovik, M. Parusava***Polotsk State University, Republic of Belarus**e-mail: n.vishniakov@psu.by; 15pgs1.dubovik.v@pdu.by*

*This article presents the results of determining the roundness of fine sand soil of various formations using an Altami Met 5C microscope and Altami Studio software. Further, using a single-plane cut-off device of the ASIS test complex, the strength characteristics of each of the considered samples were determined, and the influence of roundedness on the strength properties of sand was established.*

**Keywords:** *sand soil, roundness of particles, dilatancy, strength properties.*

Песчаные грунты широко распространены на территории Республики Беларусь и, как правило, служат хорошим основанием для фундаментов различных зданий и сооружений. Достаточно высокая несущая способность таких грунтов в первую очередь обуславливается их высокими прочностными свойствами. Как известно, прочностные свойства песчаных грунты в наибольшей степени определяются силами трения между минеральными частицами. Трение между частицами грунта зависит от различных факторов, среди наиболее существенных следует назвать: гранулометрический состав, плотность, влажность и окатанность зёрен грунта.

Влияние гранулометрического состава и характеристик физического состояния на прочностные характеристики грунтов достаточно хорошо изучено. Это позволило разработать зависимости (таблицы) для определения угла внутреннего трения и удельного сцепления грунтов по параметрам физического состояния [1].



В то же время, влияние окатанности зёрен песка на прочностные характеристики практически не изучено. Кроме того, в технической литературе практически полностью отсутствуют данные о влиянии окатанности зёрен песка на его способность к дилатансии.

Известно, что песчаные грунты, как и многие другие дисперсные тела, обладают свойством изменять объём при деформациях формоизменения. Явление увеличения объёма грунта называется дилатансией, уменьшение объёма - контракцией. Термин «дилатансия» впервые был введен Рейнольдсом в 1885г. В результате своих исследований Рейнольдс сделал вывод о том, что дилатансия есть «фундаментальное свойство зернистой среды, требующее специального учёта и описания». Сейчас термин дилатансия используется для обозначения любых изменений объёма при дистросии. Контракция при этом может быть определена как отрицательная дилатансия. [2]

Явление дилатансии можно наблюдать при проведении испытаний грунта на сдвиг в приборе одноплоскостного среза. При контролировании перемещений верхнего штампа прибора в плотных песках сначала происходит небольшое уплотнение (контракция) с последующей дилатансией грунта, сопровождающаяся поднятием штампа.

Исследования явления дилатансии позволили сделать вывод о существенном влиянии окатанности зёрен на изменение объёма при дилатансии [2]. Однако, количественная оценка такого влияния до настоящего времени сделана не была.

В данной работе представлены результаты начального этапа исследований по оценке влияния окатанности зёрен на прочностные свойства песков озёрно-ледникового происхождения. Работы выполнены в лаборатории «Механики грунтов» кафедры Строительных конструкций, Полоцкого государственного университета.

Известно, что окатанность несвязных грунтов – структурный признак, говорящий об условиях формирования грунта и определяется как соотношение наибольшего размера частицы к размерам вписанного в неё идеального шара.

$$\beta = \frac{F_z}{F_R} \quad (1)$$

где  $F_z$  - площадь проекции каждого зерна;

$F_R$  - площадь круга, описанного вокруг проекта зерна.

В наибольшей степени окатанностью обладают аллювиальные грунты, а в наименьшей – ледниковые и другие.

Для начального этапа исследований были отобраны два образца мелкого песка с одинаковой пористостью:

- Образец №1 - песок мелкий из карьера «Виторжье»;
- Образец №2 - песок мелкий, отобранный с площадки строительства МФК «Газпром» г. Минск, глубина залегания 24-25м.

Определение окатанности зёрен песчаного грунта проводилось с помощью микроскопа Altami Met 5C и программного обеспечения Altami Studio.

Микроскоп Altami Met 5C - микроскоп прямого типа для работы в отраженном свете по методам светлого поля и поляризации, а также для исследования прозрачных и полупрозрачных объектов в проходящем свете в светлом поле.

Altami Studio - программное обеспечение для управления цифровыми камерами, проведения измерений и автоматического анализа изображений.

Из каждого образца грунта было отобрано по 5 зёрен грунта, с помощью микроскопа Altami Met 5C и ПО Altami Studio были сделаны снимки зёрен и измерены размеры, построены 3D модели (рисунок 1 и рисунок 2).

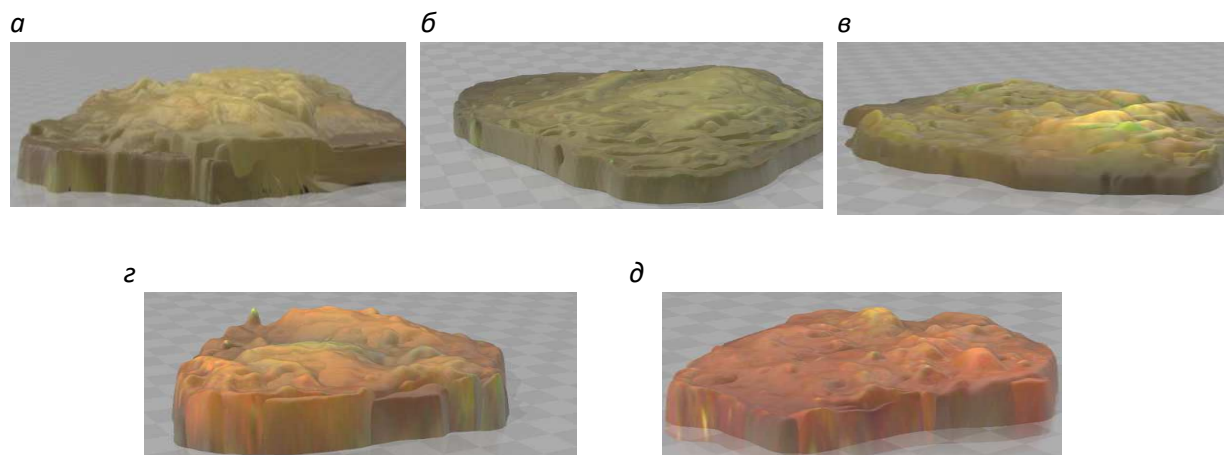


Рисунок 1. – 3D модели, построенные по отобранным частицам песка образца № 1

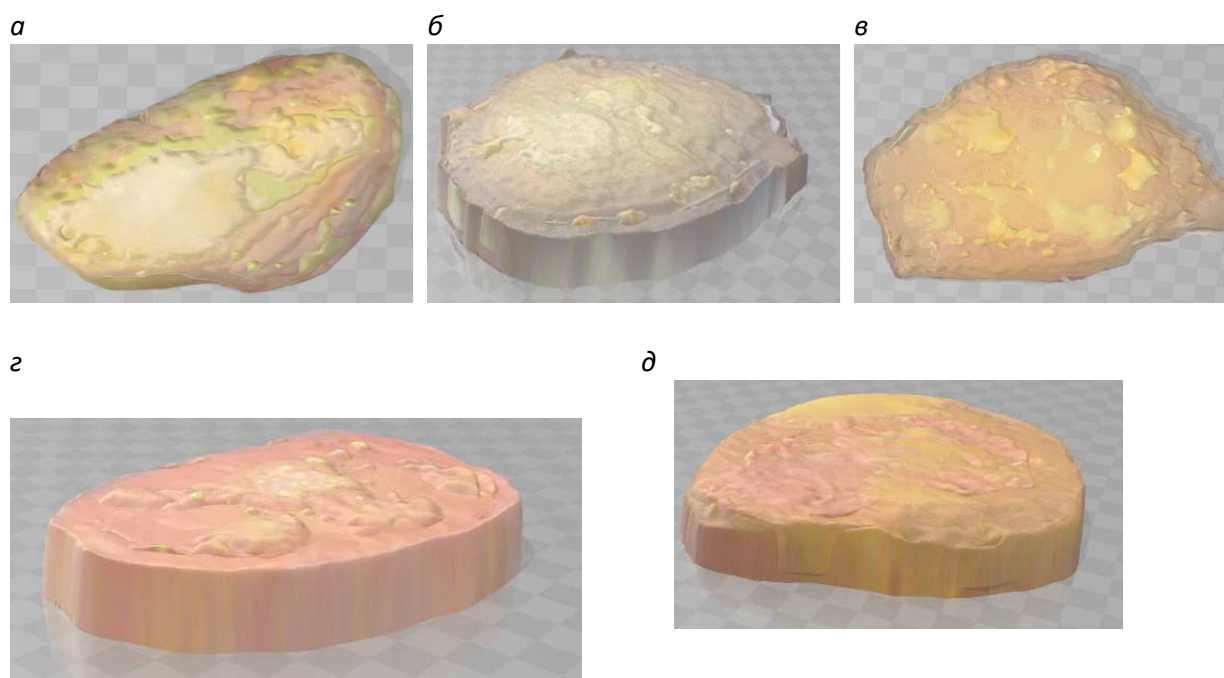


Рисунок 2. – 3D модели, построенные по отобранным частицам образца №2

Чтобы определить коэффициент окатанности вписали идеальный шар поверх изображения зерна, привязав его к центру зерна (рисунок 3 и 4).

Коэффициент окатанности зёрен грунта нашли отношением наибольшей ширины зерна к диаметру вписанного идеального шара. Полученные результаты окатанности показаны в таблице 1.

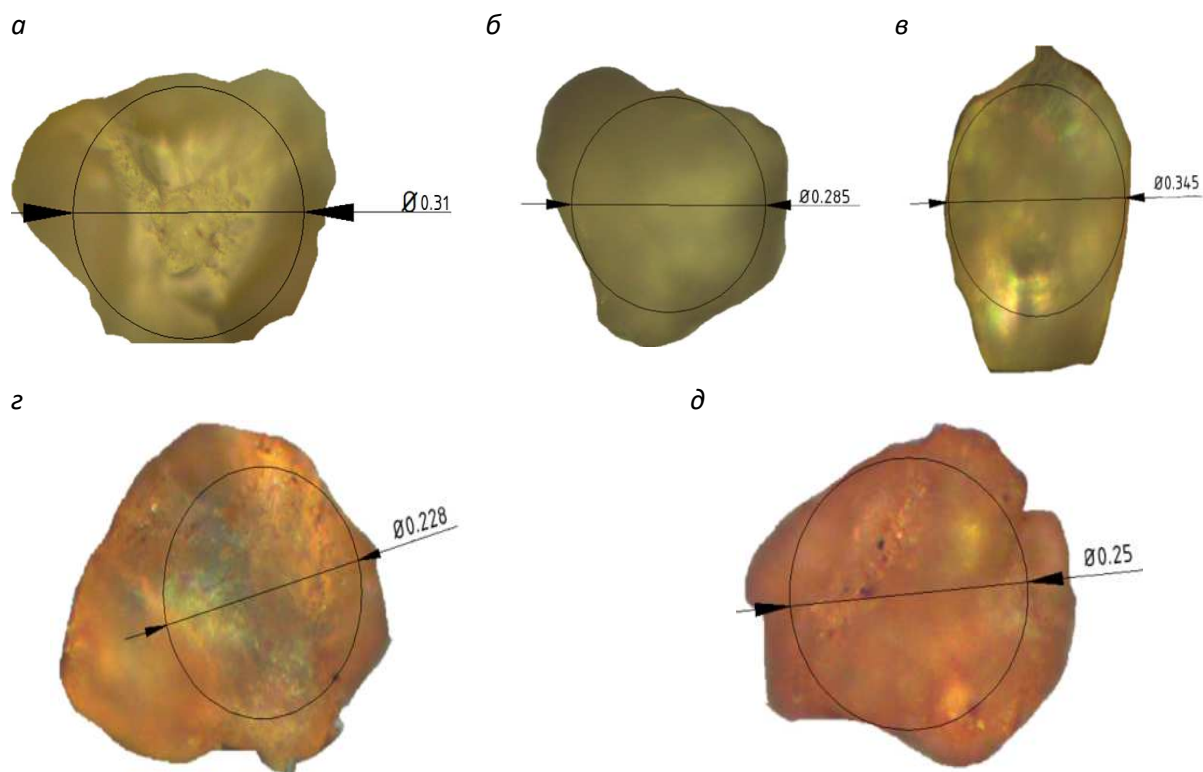


Рисунок 3. – Размеры вписанной окружности в частицы песка образца №1

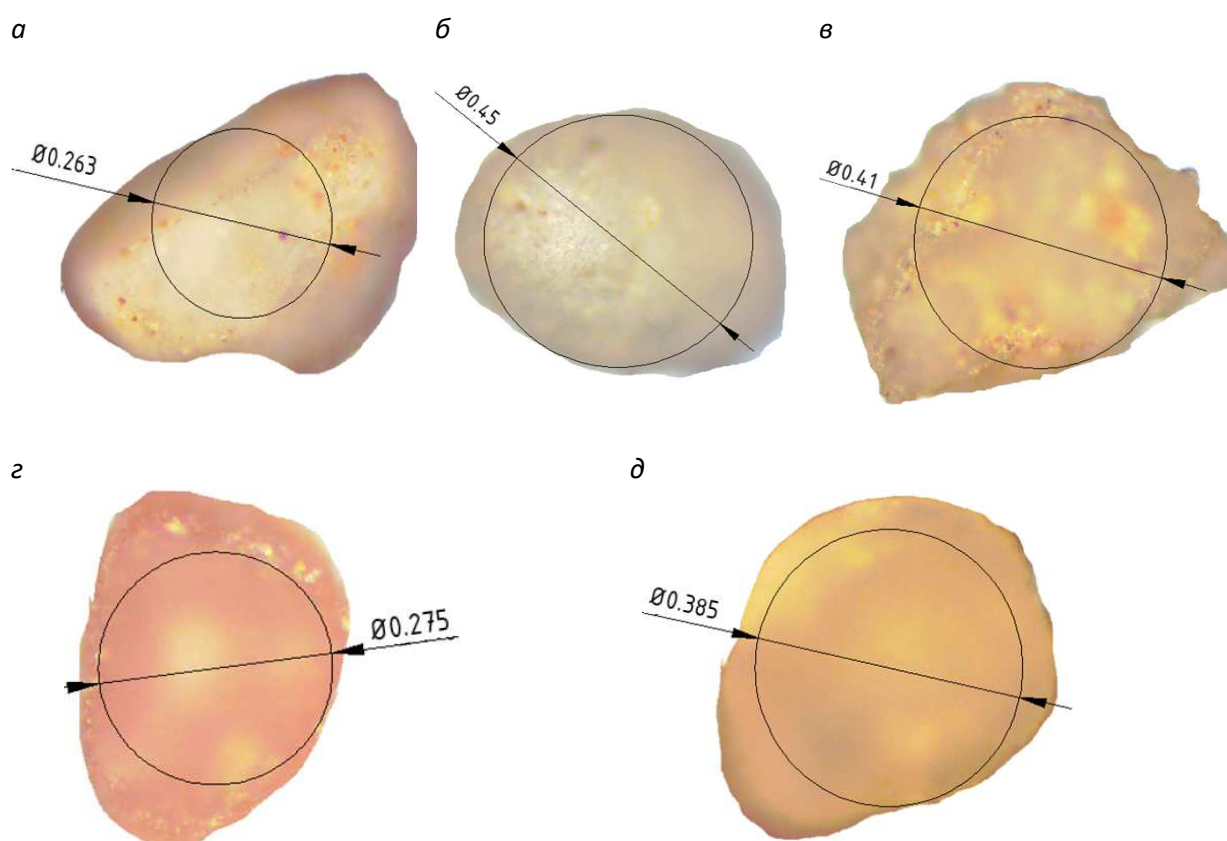
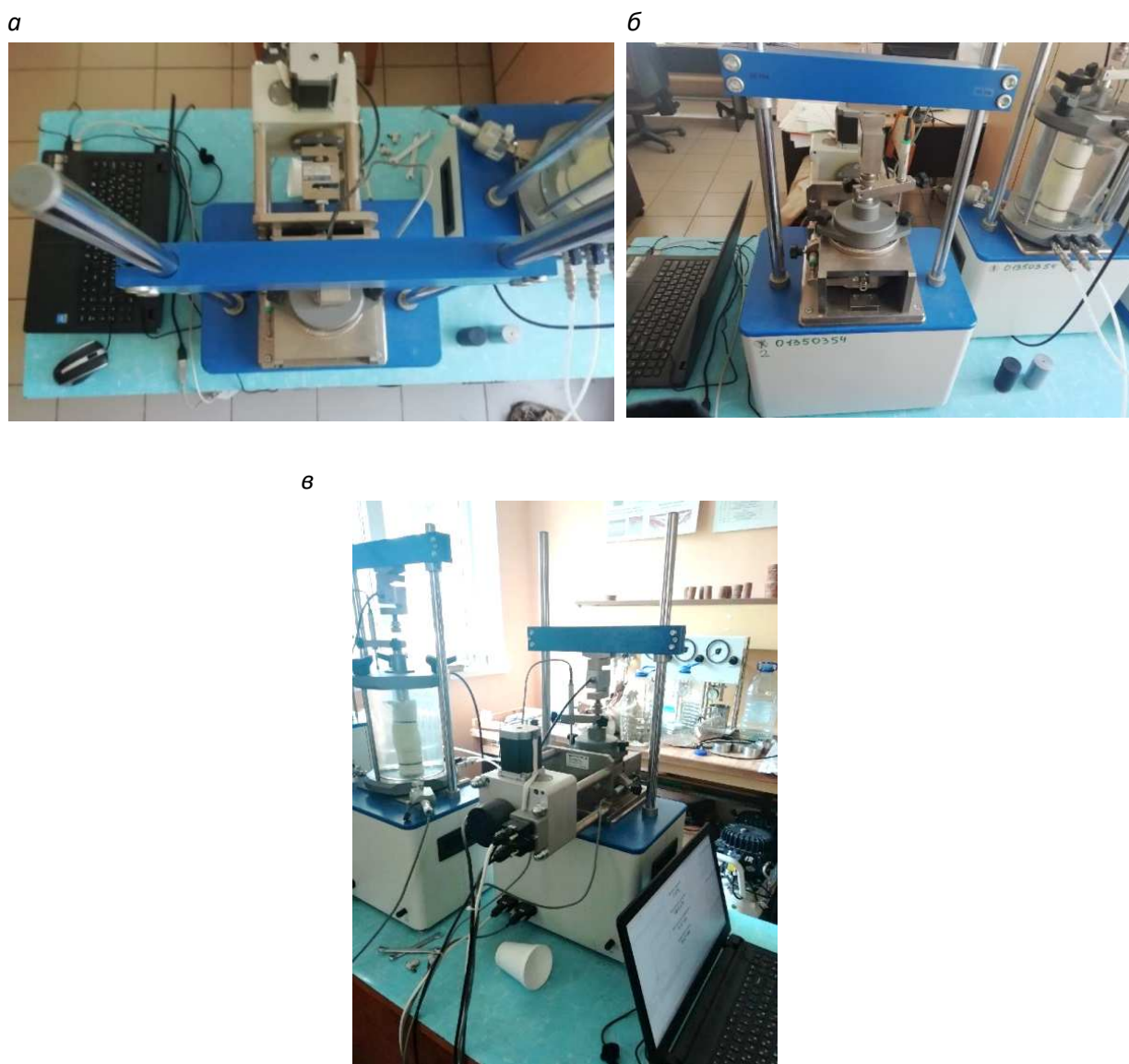


Рисунок 4. – Размеры вписанной окружности в частицы песка образца №2

Таблица 1. – Результаты измерений окатанности зёрен грунта

	Образец №1					Образец №2				
	Зерно грунта №1	Зерно грунта №2	Зерно грунта №3	Зерно грунта №4	Зерно грунта №5	Зерно грунта №1'	Зерно грунта №2'	Зерно грунта №3'	Зерно грунта №4'	Зерно грунта №5'
Наибольшая ширина зерна (мм)	0.41	0.310	0.503	0.306	0.35	0.524	0.559	0.641	0.42	0.486
Диаметр вписанного идеального шара (мм)	0.31	0.285	0.345	0.228	0.25	0.263	0.45	0.41	0.275	0.385
Коэффициент окатанности	1.32	1.09	1.46	1.34	1.40	2.00	1.24	1.56	1.53	1.26
Среднее значение коэффициента окатанности по образцу	1,32					1,52				

Определение прочностных характеристик производилось с помощью срезного механизма ГТ 2.2.3 ГТЯН.441178.018 испытательного комплекса АСИС.



**Рисунок 5. – Механизм срезной ГТ 2.2.3 ГТЯН.441178.018**

Определение угла внутреннего трения и удельного сцепления проводилось методом одноплоскостного среза. Все испытания, отбор проб и обработка результатов были выполнены в соответствии с действующими нормативными документами.

Отбор образцов для испытания на одноплоскостной срез проводился в кольца диаметром 70 мм и высотой 35 мм из привезенных в лабораторию песчаных грунтов. Образцы подвергались предварительному уплотнению в компрессионном приборе с нормальными напряжениями в 0.1, 0.2 и 0.3 МПа.

Графики, построенные по результатам испытаний на одноплоскостной срез, показаны на рисунках 6 и 7.

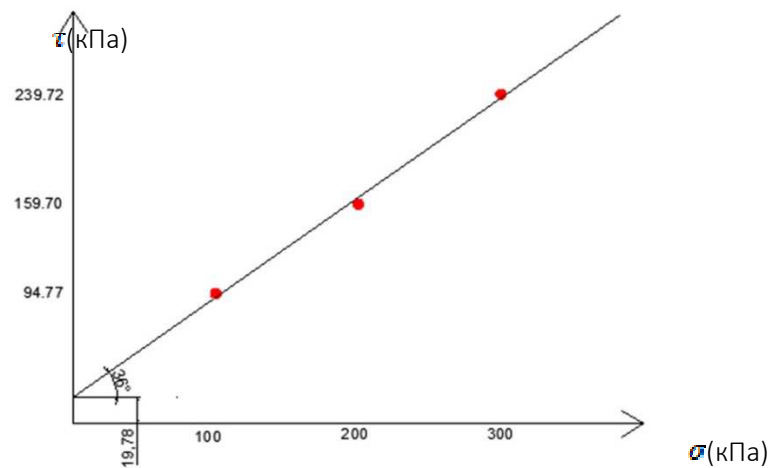


Рисунок 6. – График по образцу №1

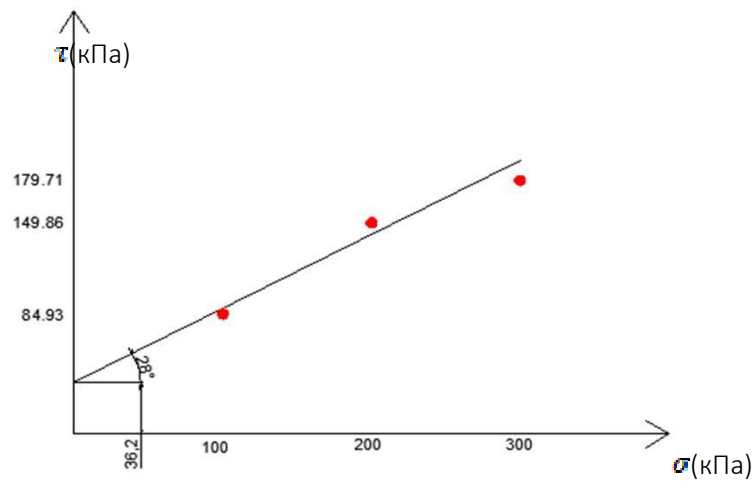


Рисунок 7. – График по образцу №2

Также по результатам испытаний были составлены графики дилатансии грунта, которые показаны на рисунках 8 и 9.

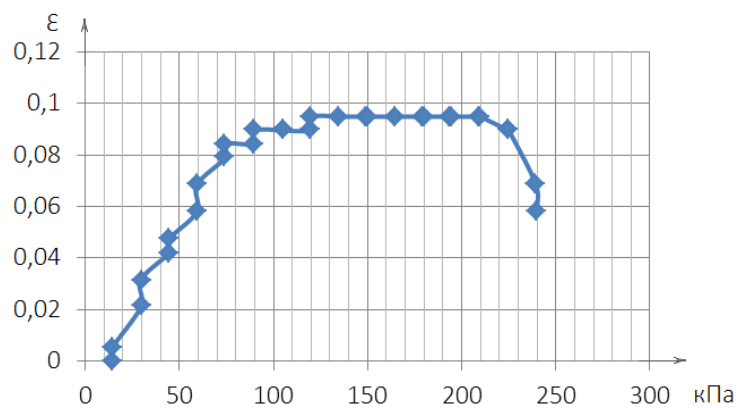


Рисунок 8. – График дилатансии для образца №1 при 300 кПа

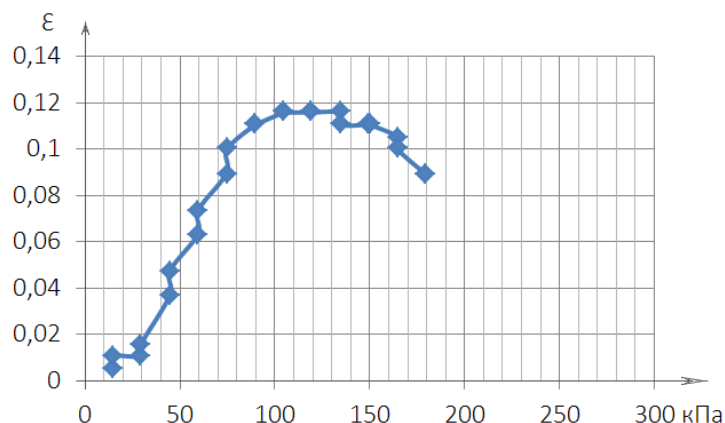


Рисунок 9. – График дилатансии для образца №2 при 300 кПа

После обработки полученных данных были получены следующие характеристики:

- образец №1: при коэффициенте окатанности 1.32 угол внутреннего трения составляет:  $\phi = 36^\circ$ ,  $c = 19.78$  кПа;
- образец №2: при коэффициенте окатанности 1.52 угол внутреннего трения составляет:  $\phi = 28^\circ$ ,  $c = 36.2$  кПа;

**Выводы:**

1. Пески мелкие озёрно-ледникового происхождения имеют коэффициент окатанности 1,32-1,52.
2. Окатанность зерен песков существенно влияет на прочностные параметры грунта. Так с увеличением окатанности частиц грунта на 13%, угол внутреннего трения увеличился на 23%, а удельное сцепление на 45%.
3. Дилатантные деформации песка увеличились с увеличением коэффициента окатанности на 20%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254-2012 (02250). – Введ. 01.07.12. – Минск: Минстройархитектуры строительства Республики Беларусь, 2012. – 102 с.
2. Соболевский, Д.Ю. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта / Д.Ю. Соболевский. – Минск: Навука і тэхніка, 1994. – 232 с.

УДК 624.012.15+624.012.25

## РАСЧЕТ СЖАТЫХ АРМОКАМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ИХ МАТЕРИАЛОВ

*Д.Н. Лазовский, А.М. Хаткевич*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь  
e-mail: d.lazovski@psu.by, a.khatkevich@psu.by

*Рассматривается метод расчета параметров напряженно-деформированного состояния поперечных сечений сжатых армокаменных элементов. Метод основан на положениях общей деформационной модели; он позволяет осуществлять расчет сечений элементов любой формы с любыми параметрами армирования, учитывая физическую нелинейность в виде диаграмм деформирования исходных материалов.*

***Ключевые слова:** армокаменные элементы, физическая нелинейность, сжатие, напряженно-деформированное состояние, деформационная модель.*

## CALCULATION OF COMPRESSION OF REINFORCED MASONRY ELEMENTS TAKING INTO ACCOUNT PHYSICAL NON-LINEARITY OF THEIR MATERIALS

*D. Lazovski, A. Khatkevich*

Polotsk state University, Republic of Belarus  
e-mail: d.lazovski@psu.by, a.khatkevich@psu.by

*The article considers a method for calculating the parameters of the stress-strain state of the normal to the longitudinal axis cross-sections of compressed masonry and reinforced masonry elements. Method is based on the positions of the general deformed model; he makes it possible to calculate the cross-sections of elements of any shape with any reinforcement parameters, taking into account the physical non-linearity in the form of deformation diagrams of the initial materials.*

***Keywords:** reinforced masonry elements, physical nonlinearity, compression, stress-strain state, the deformation model.*

**Введение.** Сжатые элементы в виде столбов, простенков, пилонов и других подобных конструкций широко применяются в зданиях и сооружениях различного назначения. С помощью армирования получают армокаменные элементы, обладающие хорошими технико-экономическими показателями и, в частности, высокой прочностью.

Различают армокаменные элементы с продольным армированием и армокаменные элементы с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах, в особых случаях находят применение армокаменные элементы со смешанным армированием – одновременно продольным и поперечным.

Анализ используемых методов расчета сжатых армокаменных элементов [1-4] показал, что им присущ ряд недостатков:



- рассматривается одна стадия работы сжатого элемента - предельная стадия по прочности;
- отсутствует инструментарий для учета физической нелинейности материалов армокаменных элементов;
- перераспределение усилий в поперечных сечениях элементов и учет неполного использования прочностных свойств материалов армокаменных элементов учитывается упрощенными эмпирическими методами. Так, например, прочность кладки в комплексных элементах с железобетоном уменьшается введением постоянного, не зависящего от объемного соотношения кладки и железобетона, коэффициента 0,85; во внецентренно сжатых армокаменных и комплексных элементах вводятся ограничения по количеству продольной арматуры, к прочностным характеристикам арматуры также вводятся коэффициенты условий работы.

Таким образом, известные методы расчета с вышеописанными упрощениями искажают истинное напряженно-деформированное состояние сечений сжатых армокаменных элементов в стадии разрушения и не позволяют описать напряженно-деформированное состояние на промежуточных стадиях нагружения. Это может негативно отражаться на надежности проектируемых возводимых либо усиливаемых существующих сжатых элементов.

Одним из направлений получения при проектировании более экономичных и надежных решений строительных конструкций является применение деформационных методов расчета [5, 6], учитывающих физическую нелинейность материалов в виде диаграмм деформирования.

**Основная часть.** Методика расчета сжатых армокаменных элементов с учетом физической нелинейности.

Согласно [1-4] каменная кладка рассматривается как однородный материал с осредненными физико-механическими характеристиками. Используя метод сечений, сопротивление сжатию, соответствующее прочности армокаменного элемента в предельной стадии, находится из уравнений равновесия внутренних и внешних усилий. Эпюра напряжений в сжатой зоне (рисунок 1, а) заменяется на прямоугольную, высота сжатой зоны при этом сокращается (рисунок 1, б, в).

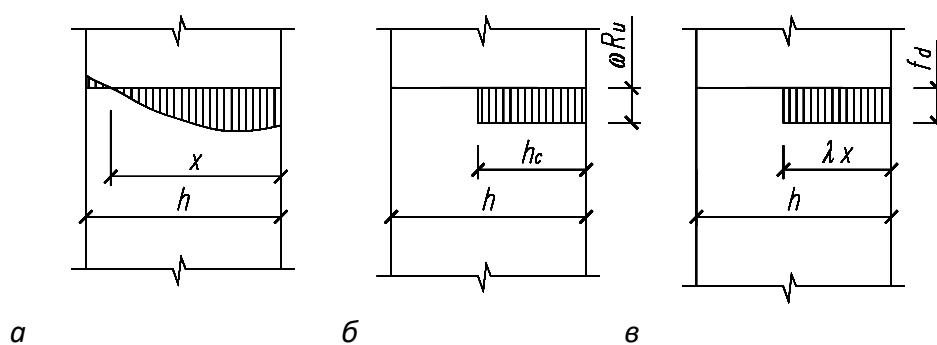
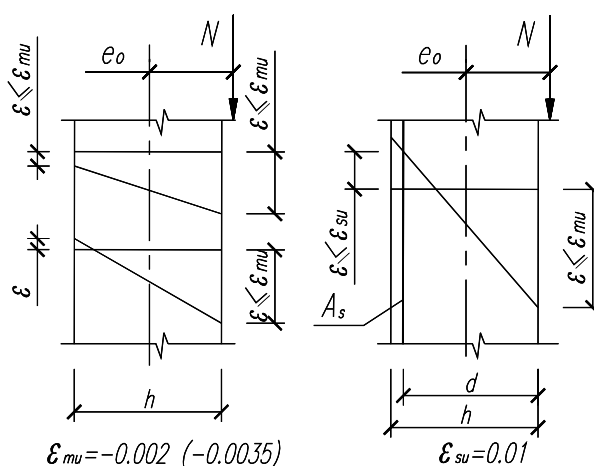


Рисунок 1. – Распределение нормальных напряжений в поперечном сечении: фактическое (а); по [11, 12] (б); по [13, 14] (в); по [15] (г)

На рисунке 1:  $x$  – высота сжатой зоны;  $h$  – высота сечения в плоскости эксцентриситета;  $h_c$  – высота сжатой зоны сечения [1; 2];  $\lambda x$  – высота сжатой зоны сечения [3, 4];  $R_u$  – предел прочности кладки;  $w$  – коэффициент, учитывающий величину эксцентриситета;  $f_d$  – прочность кладки при сжатии сжатию [3, 4].

Общими положениями расчета армокаменных элементов при действии сжимающих усилий в [3, 4] является:

- соблюдение гипотезы Бернулли (плоских сечений);
- вводятся ограничения на величину относительных деформаций соответственно материалу, из которого изготовлен армокаменный элемент, рисунок 2.



**Рисунок 2. – Распределение относительных деформаций в сечении сжатых элементов с учетом требований [3, 4]**

На рисунке 2:  $h$  – высота сечения в плоскости эксцентриситета;  $\varepsilon$  – относительная деформация;  $\varepsilon_{mu}$  – предельная относительная деформация для каменной кладки;  $\varepsilon_{su}$  – предельная относительная деформация для арматуры;  $A_s$  – продольная арматура;  $N$  – продольное усилие;  $e_0$  – эксцентриситет.

Указанные положения расчета соответствуют условиям применения общего деформационного метода, успешно используемого для расчета железобетонных элементов.

На основе метода сечений и общей деформационной модели была предложена методика расчета армокаменных элементов [7; 8], учитывающая:

- уравнения равновесия;
- условия распределения деформаций по сечению в виде гипотезы плоских сечений;
- диаграммы деформирования материалов, учитывающие физическую нелинейность их деформирования под нагрузкой.

Благодаря применению данной методики имеется возможность вычислять параметры напряженно-деформированного состояния в сечениях сжатых армокаменных элементов с продольным и поперечным армированием в горизонтальных растворных швах на любой стадии деформирования (нагружения), в т.ч. и в стадии разрушения.

Сущность методики заключается в рассмотрении сечения сжатого каменного или армокаменного элемента в виде совокупности  $k$  элементарных площадок с площадью  $A_{mi}$  и  $n$  продольных стержней с площадью  $A_{sj}$  в пределах которых деформации считаются равномерно распределенными.

Алгоритм вычисления параметров напряженно-деформированного состояния в сечениях сжатых армокаменных элементов предусматривает итерационный процесс вычисления относительных деформаций ( $\varepsilon_{mi}$ ;  $\varepsilon_{sj}$ ) и напряжений ( $\sigma_{mi}$ ;  $\sigma_{sj}$ ) в элементарных площадках. При величине деформаций в элементарной площадке, расположенной в растянутой зоне, превышающей предельные значения в последующих расчетных циклах, ее жесткость принимается нулевой.

Алгоритм вычисления сопротивления сжатию в предельной стадии по прочности предусматривает пошаговый метод последовательных нагружений с итерационным процессом вычисления относительных деформаций и напряжений в элементарных площадках на каждом шаге.

За сопротивление сжатию в предельной стадии по прочности принимается максимально достигнутое усилие, при котором сходится процесс последовательных приближений и соблюдаются уравнения равновесия:

$$\begin{cases} \sum N = 0 \\ \sum M_x = 0 \\ \sum M_y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sum_{i=1}^k \sigma_{mi} A_{mi} + \sum_{j=1}^n \sigma_{sj} A_{sj} - N = 0; \\ \sum_{i=1}^k \sigma_{mi} A_{mi} (x_{mi} - x_0) + \sum_{j=1}^n \sigma_{sj} A_{sj} (x_{sj} - x_0) - N \cdot e_x = 0; \\ \sum_{i=1}^k \sigma_{mi} A_{mi} (y_{mi} - y_0) + \sum_{j=1}^n \sigma_{sj} A_{sj} (y_{sj} - y_0) - N \cdot e_y = 0. \end{cases}$$

Таким образом критерием разрушения является достижение деформаций, соответствующих максимально достигнутому усилию. Благодаря вышеописанному:

- появляется возможность учета полного перераспределения усилий в сечении армокаменных элементов, состоящих из нескольких материалов с разными физико-механическими характеристиками;
- исключается строгое нормирование предельной сжимаемости  $\varepsilon_{mu}$  для каменной кладки;
- отсутствует необходимость введения эмпирических коэффициентов к прочностным характеристикам каменной кладки в комплексных и армокаменных элементах.

Методика расчета армокаменных элементов с учетом физической нелинейности их материалов реализована в программном комплексе «Beta» (разработка д.т.н. Д.Н. Лазовского и к.т.н. Д.О. Глухова), позволяющем:

- учитывать истинные деформационные свойства составляющих сечение материалов в виде диаграмм деформирования;
- выявлять выявить степень использования прочностных свойств арматуры, каменной кладки и проводить расчеты без введения эмпирических коэффициентов.

Для проверки методики была сформирована выборка из экспериментально испытанных каменных и армокаменных элементов. Сравнивая рассчитанные параметры напряженно-деформированного состояния сечений, включая сопротивление сжатию в предельной стадии по прочности, с экспериментальными, установлена их хорошая сходимость, что позволяет рекомендовать предложенную методику расчета.

**Заключение.** Предлагаемая методика расчета сжатых армокаменных элементов позволяет определять параметры напряженно-деформированного состояния сечений на любом этапе нагружения, учитывая при этом физическую нелинейность деформирования исходных материалов в виде каменной кладки, арматуры, бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каменные и армокаменные конструкции : СНиП II-22-81\* (с изм. №1 и №2 ВУ). – Введ. СССР 01.01.83. – М. : Стройиздат, 2015. – 46 с.
2. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81) : утв. 15.08.1985. – М. : (ЦИТП) Госстроя СССР, 1989. – 149 с.
3. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Ч. 1-1 : Общие правила для армированных и неармированных конструкций : СТБ EN 1996-1-1-2008. – Введ. 1.07.2009. – Минск : Госстандарт, 2009. – 128 с.
4. Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.03-308-2017 (33020). – Введ. 01.01.2018. – Минск.: Минстройархитектуры, 2017. – 112 с.
5. Ерышев, В. А. Численные методы расчета прочности железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели с использованием диаграмм деформирования материалов / В. А. Ерышев // Вестн. НГИЭИ. – 2018. – № 6 (85). – С. 17–26.
6. Лазовский, Д. Н. Оценка вероятностных характеристик распределения эффектов от внешнего воздействия и функции предельного состояния в расчетах железобетонных элементов / Д. Н. Лазовский, Д. О. Глухов, Т. М. Глухова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2009. – № 6. – С. 35–40.
7. Глухов, Д.О. Метод расчета прочности сжатых каменных элементов по сечениям, нормальным к продольной оси / Д.О. Глухов, А.М. Хаткевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 8. – С. 73–79.
8. Лазовский, Д.Н. Расчет сопротивления сжатию каменных и армокаменных элементов с учетом физической нелинейности / Д.Н. Лазовский, А.М. Хаткевич // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. Ф. – 2017. – № 16. – С. 41-50.

УДК 624.0.12.464.3

## ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

**А.Д. Журавский<sup>1</sup>, Е.В. Куцик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича, Украина

e-mail: azhur@ua.fm<sup>1</sup>, kutsikolena@gmail.com<sup>2</sup>

*Приведенные результаты экспериментальных исследований прочности и трещиностойкости железобетонных балок из высокопрочного бетона и выполнено сравнение их с балками из обычного бетона.*

**Ключевые слова:** прочность, трещиностойкость, прогибы, высокопрочный бетон.

## STRENGTH AND CRACKING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS FROM HIGH-STRENGTH CONCRETE

**O. Zhuravskiy<sup>1</sup>, O. Kytsyk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

<sup>2</sup>Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovich, Ukraine

e-mail: azhur@ua.fm<sup>1</sup>, kutsikolena@gmail.com<sup>2</sup>

*The results of experimental studies of durability and crack resistance of reinforced concrete beams from high-strength concrete are presented and compared with ordinary concrete beams.*

**Keywords:** strength, crack resistance, deflection, high strength concrete.

Современное строительство требует использования высокопрочного бетона, который позволяет уменьшить сечения конструктивных элементов и тем самым уменьшить их вес, увеличить несущую способность и пролеты конструкций.

Для проведения экспериментальных исследований были использованы три серии образцов-балок (по четыре в каждой серии). Балки длиной 1200 мм и сечением 100x50 мм армировались в растянутой зоне двумя стержнями  $\varnothing 12A400$ , а в сжатой зоне одним стержнем  $\varnothing 5Bp-I$  (рис. 1). Поперечная арматура  $\varnothing 5Bp-I$ , которая установлена с шагом 50 мм в приопорных зонах длиной 400 мм.

Опытные образцы изготавливались из бетона, в состав которого входят: гранитный щебень (фракция 5...10 и 10...20 мм), кварцевый песок (модуль крупности 0,95 мм), цемент марки М500, добавка метакаолин и гиперпластификатор (STACHEMENT 2597), вода (В/Ц=0,32). Состав бетона каждой серии отличается количеством цемента, метакаолина и водоцементного соотношения. Характеристики бетона опытных балок приведены в таблице 1.

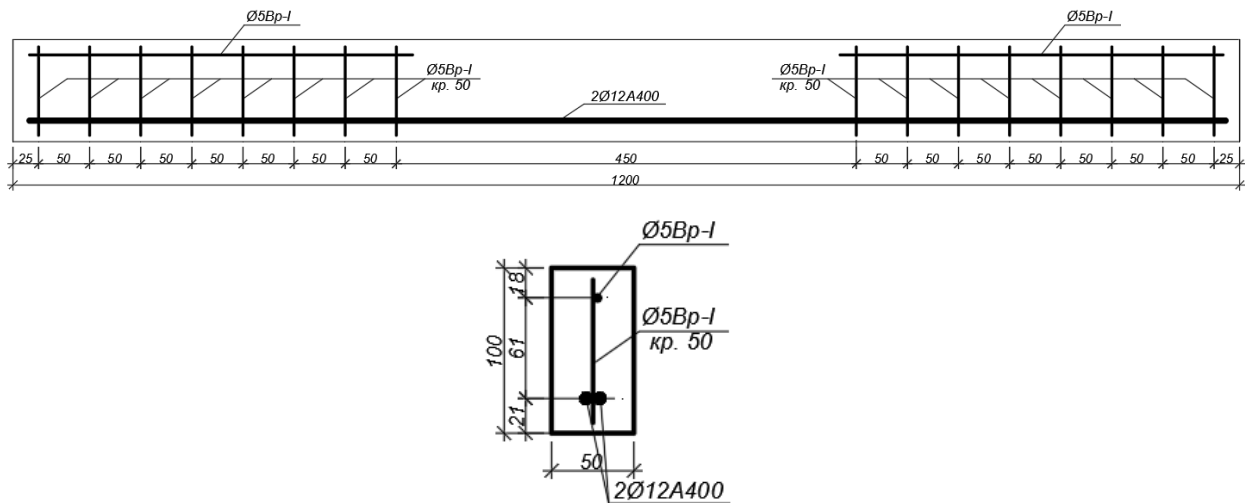


Рисунок 1. – Схема армирования опытных балок

Таблица 1. – Характеристики бетона

Серия	Кубиковая прочность $f_{ck,cube}$ , МПа	Призмовая прочность $f_{ck,prism}$ , МПа	Начальный модуль упругости $E_c \times 10^{-3}$ , МПа
Б-I	31,45	22,86	26,47
Б-II	79,50	71,14	37,42
Б-III	85,05	79,51	42,83

Балки опирались на две опоры с пролетом 1000 мм и загружались двумя сосредоточенными силами, которые расположены на расстоянии 333 мм от опор (рис. 2 и 3). На каждой степени загрузки измерялись прогибы балки с помощью индикатора часового типа I-1 с ценой деления 0,01 мм. Деформации бетона в сжатой и растянутой зонах измерялись индикаторами часового типа I-2 ... I-5 ценой деления 0,001 мм на базе 200 мм и тензорезисторами T-5...T-14 на базе 50 мм. Деформации арматурных стержней измерялись тензорезисторами T-1...T-4 на базе 20 мм. Ширину раскрытия трещин измеряли с помощью микроскопа Бринеля с ценой деления 0,05 мм. Нагрузка прикладывалась с помощью гидравлического домкрата через систему тяг и траверс, а значение силы  $P_1$  определялась с помощью динамометра камертонного типа, который был установлен на одной из опор (рис. 2 и 3).

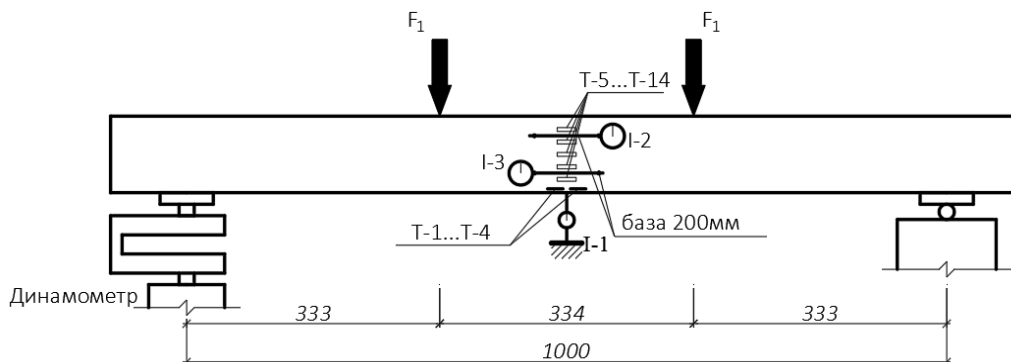


Рисунок 2. – Схема испытания опытных балок



Рисунок 3. – Стенд для испытания опытных балок

В результате испытания опытных балок полученные значения нагрузок  $F_{cr,1}$ , при которых появились нормальные трещины и нагрузок  $F_{u,1}$ , при которых разрушились балки. Значение этих нагрузок для каждой балки и среднее их значение для каждой серии приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты экспериментальных исследований балок

Серия	Марка балки	Нагрузка трещинообразования $F_{cr,1}$ , кН		Разрушающая нагрузка $F_{u,1}$ , кН	
		одного образца	среднее	одного образца	среднее
Б-I	Б-I-1	8,1	7,3	13,5	10,75
	Б-I-2	6,0		10,0	
	Б-I-3	6,2		10,0	
	Б-I-4	8,9		9,5	
Б-II	Б-II-1	6,7	6,4	11,5	11,05
	Б-II-2	6,0		11,0	
	Б-II-3	6,1		10,8	
	Б-II-4	6,8		10,9	
Б-III	Б-III-1	4,6	5,1	11,5	13,03
	Б-III-2	5,1		13,5	
	Б-III-3	5,9		12,9	
	Б-III-4	4,8		14,2	

Анализ результатов испытаний показал, что трещины в балках из высокопрочного бетона (серия Б-III) появились раньше, чем в балках серии Б-II и Б-I, то есть в среднем

при  $F_{cr,1} = 5,1$  кН. Это на 19,6% меньше трещиностойкости балок серии Б-II ( $F_{cr,1} = 6,4$  кН) и на 31,0% меньше трещиностойкости балок серии Б-I ( $F_{cr,1} = 7,3$  кН).

Анализ разрушающих нагрузок показал совершенно противоположные значения наименьшие значения были в балках серии Б-I, то есть  $F_{u,1} = 10,75$  кН. Это на 2,7% меньше прочности балок серии Б-II ( $F_{u,1} = 11,05$  кН) и на 17,5% меньше прочности балок серии Б-III ( $F_{u,1} = 13,03$  кН).

Общий вид балок после испытания и характер трещинообразований показано на рис. 4...6. Трещинообразования и характер разрушения балок серии Б-I происходило по обычной схеме - возникновение нормальных трещин в растянутой зоне сечения, их развитие при увеличении нагрузки, разрушения балок вследствие достижения деформаций текучести растянутой арматуры и разрушения сжатой зоны бетона (рис. 4). Разрушение имели пластический характер. Трещинообразования и разрушения балок серий Б-II и Б-III имели несколько иной характер (рис. 5, 6). Возникновение трещин началось раньше чем в балках серии Б-I. Однако их развитие и раскрытие не был таким интенсивным как в балках серии Б-I. При разрушении балок высота сжатой зоны была значительно больше чем в балках серии Б-I. Причем возникали горизонтальные трещины, которые разделяли растянутую и сжатую зоны бетона.

Для определения несущей способности опытных балок используем зависимость [7]:

$$M_u = x_1 \cdot q_c (d - x_1 \cdot k_\lambda). \quad (1)$$

где  $x_1$  - высота сжатой зоны бетона;  $q_c$  - усредненное равномерно-распределенное усилие в жатой зоне бетона;  $d = h - a$  - рабочая высота сечения;  $k_\lambda$  коэффициент, который определяется

$$k_\lambda = \frac{1 + \lambda(1 + \lambda)}{3(1 + \lambda)}; \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{\varepsilon_{cu3,cd} - \varepsilon_{c3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd}}, \quad (3)$$

где:  $\varepsilon_{cu3,cd}$  и  $\varepsilon_{c3,cd}$  - предельные относительные деформации бетона при сжатии [2, 3].

Высота сжатой зоны бетона  $x_1$  определяется [7]:

$$x_1 = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{q_c}, \quad (4)$$

где  $f_{yd}$  - расчетное сопротивление арматуры;  $A_s$  - площадь поперечного сечения растянутой арматуры.

Усредненное равномерно-распределенное усилие в жатой зоне бетона  $q_c$  определяется [7]:

$$q_c = 0,5f_{cd}b(1 + \lambda), \quad (5)$$

где  $b$  - ширина сечения балки.



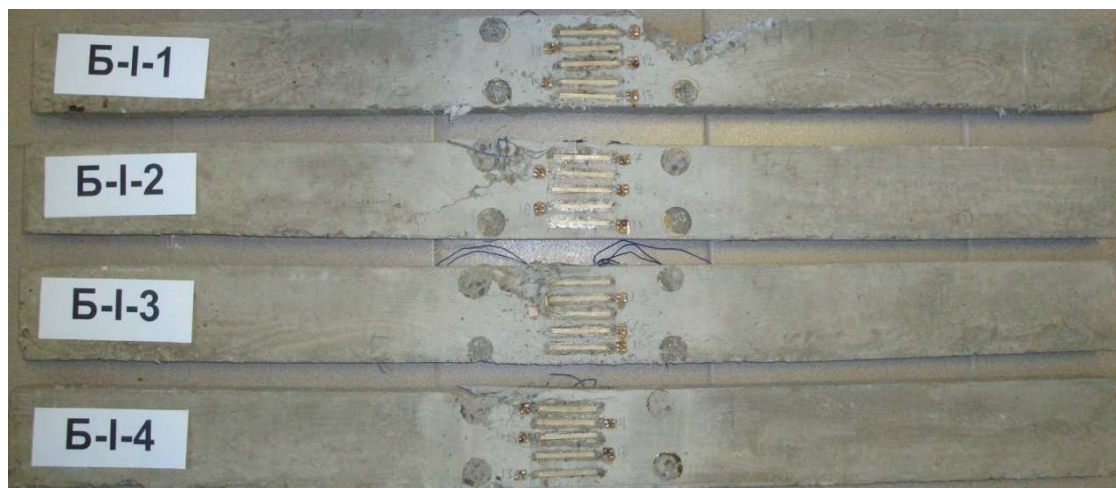


Рисунок 4. – Балки серии Б-I после испытания

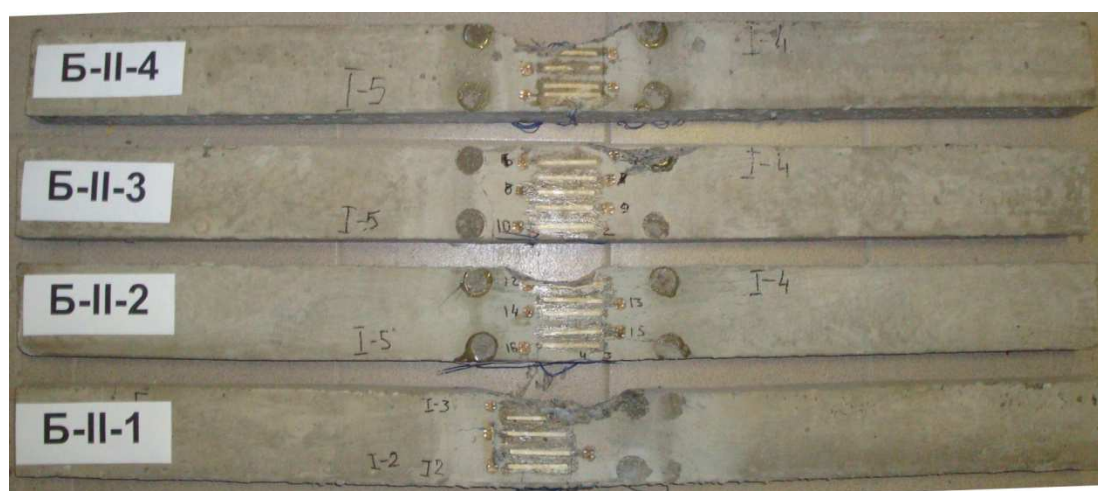


Рисунок 5. – Балки серии Б-II после испытания



Рисунок 6. – Балки серии Б-III после испытания

Сравнение экспериментальных и теоретических значений несущей способности опытных балок сведено в табл. 3.

Таблица 3. – Несущая способность балок

Серия	Экспериментальная $M_{ue}$ , кНм	Теоретическая $M_{ut}$ , кНм	Разница, %
Б-I	3,58	3,26	8,9
Б-II	3,68	3,34	9,2
Б-III	4,34	4,11	5,3

При сравнении экспериментальных и теоретических значений несущей способности балок из обычного и высокопрочного бетонов получена достаточная сходимость данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Берг, О.Я., Щербаков, Е.Н., Писанко, Г.Н. Высокопрочный бетон. – М.: Стройиздат, 1971. – 196 с.
2. Конструкції будівель та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6.-98:2009
3. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6.-156:2010.
4. EN 1992-1-1-2004: Eurocode 2: Design of concrete structures. – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
5. ACI 318-95. Building Code Requirements for Structural Concrete.
6. Куцик, О.В., Журавський, О.Д., Аналіз використання високоміцного бетону у сучасному будівництві // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА. – Вип. 61., 2016, С.444-449.
7. Войцехівський, О.В., Журавський, О.Д., Байда, Д.М. Розрахунок залізобетонних конструкцій з використанням спрощених діаграм деформування матеріалів (за ДСТУ Б.В.2.6-156:2010). Частина 1. Розрахунок за I групою граничних станів // Навчальний посібник. -К.: КНУБА, 2017. – 168 с.

УДК 691

## СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗГИБУ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ГИБРИДНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

**А.И. Гиль, Е.Д. Лазовский**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: a.hil@psu.by

*Рассматривается область применения композитной арматуры, в том числе совместно с металлической (гибридное армирование) в изгибаемых статически неопределяемых железобетонных элементах. Показаны преимущества, недостатки и перспективы применения гибридного армирования. Рассмотрен вариант применения блочной модели трещинообразования для расчета прочности элементов с гибридным армированием. Определены предполагаемые допущения для расчетной модели.*

**Ключевые слова:** композитная арматура, статически неопределимые балки, гибридное армирование.

## BENDING RESISTANCE OF STATICALLY INDETERMINATE REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH HYBRID REINFORCEMENT

*The article deals with the application of composite reinforcement, including in conjunction with metal (hybrid reinforcement) in bending statically undetectable reinforced concrete elements. Advantages, disadvantages and prospects of hybrid reinforcement application are shown. The variant of application of block model of crack formation for calculation of strength of elements with hybrid reinforcement is considered. The assumed assumptions for the computational model are determined.*

**Keywords:** composite reinforcement, statically indeterminate beams, hybrid reinforcement.

**A. Hil, Y. Lazouski**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: a.hil@psu.by

В последние годы в строительной отрасли всё активнее происходит внедрение неметаллической композитной арматуры. Данный вид арматуры представляет собой полимер, армированный высокопрочным волокном (стеклянным, арамидным, углеродным либо базальтовым), в международной практике обозначается как *FRP – fiber reinforced polymer composite* [1-3]. Сегодня такая арматура находит применение при возведении железобетонных зданий и сооружений, которые эксплуатируются в агрессивных средах и различных конструкциях специального назначения. Но вместе с тем, широкому внедрению такого вида армирования препятствует ряд факторов. На сегодняшний день актуальным вопросом является отсутствие единых требований к меха-

ническим свойствам композитных стержней, особенно, если обратить внимание на тот факт, что производят композитную арматуру огромное количество различных предприятий по всему миру. Большого внимания требуют методы расчета конструктивных элементов, армированных композитной арматурой. Но основную проблему широкого внедрения композитной арматуры в качестве рабочей (при полной замене стальной арматуры) играет ряд отрицательных свойств композита: низкая огнестойкость, низкий модуль упругости, а также низкая щелочестойкость.

На сегодняшний день самое большое внимание уделяется разработкам экономически выгодных и эффективных вариантов применения композитной арматуры в изгибаемых железобетонных элементах, которые не будут требовать дополнительных технологических мероприятий на устранение главных недостатков композитного материала. Ситуация складывается таким образом, что даже высокое сопротивление растяжению (более 1100 МПа), не позволяет решить главную проблему применения композитной арматуры в качестве рабочей в железобетонных конструкциях, а именно низкого значения модуля упругости (не более 50 ГПа). Исследования вопроса применения композитных арматурных стержней [4-6] показали, что при работе железобетонного изгибаемого элемента, армированного только композитной арматурой, после образования трещин нормального отрыва практически полностью отсутствует зона пластического деформирования элемента и, таким образом, разрушение происходит по бетону сжатой зоны. Это в первую очередь говорит о том, что применение композитной арматуры в качестве рабочей в изгибаемых элементах без предварительного напряжения на сегодняшний день нецелесообразно. Стоит обратить внимание на тот факт, что для создания предварительного напряжения неметаллической арматуры необходимо предусмотреть большое количество технологических мероприятий: от способа натяжения стержней до разработки надежных анкерных устройств.

Ситуация может быть значительно улучшена при использовании в растянутой зоне железобетонного элемента совместно композитной и металлической арматуры (так называемое гибридное, либо комбинированное армирование). Экспериментальные исследования [7] статически определимых балок с комбинированным армированием позволили получить пластическую форму разрушения элемента. Кроме того, авторами отмечено, что пластическое деформирование конструкции, даже с минимальным введением композитных стержней, оказалась существенно протяженней, нежели у элементов, армированных исключительно металлической арматурой. Анализ результатов проведенных испытаний [7] дает возможность предположить, что даже небольшое количество композитной арматуры, которая будет работать в упругой стадии, может оказать положительный эффект в работе статически неопределимых балок. Этот эффект может быть достигнут с точки зрения более рационального перераспределения усилий. Результаты исследований дали возможность применения композитной арматуры в статически неопределимых балках в растянутой зоне опорного сечения совместно со стальной (гибридное армирование опорной зоны сечения).

Одним из самых актуальных вопросов применения композитной арматуры является методика расчета железобетонных элементов с композитными стержнями в каче-

стве рабочей арматуры. В международной практике, благодаря обширным экспериментальным и теоретическим исследованиям, проведенным в последние годы, разработаны базовые основы и рекомендации по расчету и проектированию конструкций с композитной арматурой [1-3]. Однако все рекомендации касаются исключительно композитного армирования, и в работе [8] авторы отмечают, что применение в конструктивном элементе композитной арматуры совместно со стальной требует существенной корректировки расчетных моделей. Наиболее перспективным и возможным решением таких задач является, так называемая, блочная модель трещинообразования для расчета изгибаемых железобетонных элементов.

В общем случае, для статически неопределимых железобетонных балок с металлическим армированием, данная модель [9] рассматривает блочный элемент, выделенный между двумя соседними трещинами. Решение задачи в общем случае сводится к решению системы уравнений на основе положений модифицированной деформационной модели, в которую входят уравнения равновесия продольных сил, моментов и уравнения равновесия для отдельного стержня, уравнения проскальзывания. Также система уравнений дополнительно включает в себя диаграммы деформирования применяемых материалов и диаграммы, связывающие значения касательных напряжений и значения проскальзывания (взаимного смещения). В работе [9] представлен подробный алгоритм расчета статически неопределимых балок с металлической арматурой.

Следует отметить, что ключевая роль в расчетной модели отведена именно диаграмме «касательные напряжения – проскальзывание», что по сути является законом сцепления арматурного стержня и бетона. Для стальной арматуры параметрические точки данной диаграммы принимают согласно указаниям ModelCode 2010. Диаграмма закона сцепления для композитной арматуры также указана в МС 2010, однако в нем же и указано, что значения параметрических точек должны быть получены опытным путем для конкретного вида арматуры. Одним из вариантов решения данной проблемы, можно считать результаты обширных исследований под руководством Гайтано Манфреди [9-13], в которых были получены осредненные значения параметров точек на диаграмме «касательные напряжения – проскальзывания» для стеклопластиковых стержней. В дальнейших исследованиях по разработке методики расчета статически неопределимых балок с гибридным армированием будут использованы значения по работам Гайтано Манфреди [9-13].

Таким образом, для решения задачи по разработке расчетной модели изгибаемых элементов с гибридным армированием есть все необходимые исходные данные. Для реализации расчета будут использоваться основные положения алгоритмов расчета [8, 9, 14], которые будут модифицированы путем добавления в исходные данные характеристик композитной арматуры и параметров ее совместной работы с бетоном. После реализации расчета для всего элемента планируется получить распределение относительных деформаций растянутого бетона и арматуры, что в дальнейшем позволит вычислить значение распределения кривизны во всех необходимых сечениях по длине блока. Полученные значения напряженно-деформируемого состояния элемента

в дальнейшем могут быть использованы для проверки условий предельных состояний эксплуатационной пригодности. Особое внимание стоит уделить критериям окончания и сходимости итерационного процесса реализации расчета.

Если рассмотреть пример с металлической [9, 14] либо стеклопластиковой арматурой, критерием для окончания итерационного процесса является достижение относительных деформаций бетона растянутой зоны сечения изгибаемого элемента предельных значений, что свидетельствует об образовании новой трещины, либо достижение относительных деформаций растянутого бетона значений относительных деформаций растянутой арматуры, что свидетельствует об начале зоны совместного деформирования арматуры и бетона. Таким образом, в случае окончания итерационного процесса на каждом его шаге получаем значения проскальзывания арматурного стержня относительно бетона, и в дальнейшем итоговое смещение является основой для расчета прочности всего элемента.

В разработке расчетной модели присутствует ряд определенных трудностей: главная из них, это значительное отличие диаграмм закона сцепления для металлической и стеклопластиковой арматуры в числовом выражении. Аналогична ситуация и диаграммой деформирования данных материалов.

Одно из возможных решений представленной задачи может быть получено, если предположить, что эффективная зона растянутого бетона деформируется в комплексе металлическими и композитными стержнями. Таким образом при реализации итерационного процесса следует принять следующее допущение: бетон растянутой зоны изгибаемого элемента деформируется одинаково по всей площади. Эффективная глубина растянутого бетона принята по ТКП EN 1992-1-1-2009 (аналогично с ModelCode 2010).

При реализации итерационного процесса расчета будет рассматриваться одновременное деформирование металлических и композитных стержней по алгоритму расчета блочной модели трещинообразования.

Предложенная расчетная модель изгибаемых статически неопределимых железобетонных элементов с гибридным армированием позволит более рационально подойти к проектированию таких элементов, расширить область применения композитной арматуры без предварительного напряжения, а также повысить надежность элементов с данным видом армированием.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. fib 2005 "FRP Reinforcement for reinforced concrete structures", Task Group 9.3 (Fiber-Reinforced Polymer) Reinforcement for Concrete Structures, Lausanne, Switzerland, 2005. –173 p.
2. ACI 440.1R-03 " Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA. – 2003. – 81 p.
3. Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber Reinforced Polymer Bars – CNR–DT 203/206, Rome, June 2007. – 35 p.
4. Мясников, А.Л. Изгибаемые конструкции со стеклопластиковой арматурой /А.Л. Мясников, Е.П. Телешман, А.А. Варламов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной научно-технической конференции / под ред.

- В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т.2. с. 70–74.
5. Польской, П.П. О влиянии стеклопластиковой арматуры на прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из тяжёлого бетона // П.П. Польской, Мерват Хишмах, Михуб Ахмад // Эл. журнал «Инженерный вестник дона», №4, Ростов-на-дону, 2012.
  6. Маилян, Д.Р., Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин / П.П. Польской, Маилян Д.Р. // [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-stalnogo-i-kompozitnogo-armirovaniya-na-shirinu-raskrytiya-normalnyh-treschin> Дата доступа: 24.03.2015.
  7. Тур, В.В. Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями / В.В. Тур, В.В. Малыха // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F Строительство. Прикладные науки. – 2013. – №8. – С. 58-65.
  8. Тур, В.В. Соппротивление изгибаемых железобетонных элементов с комбинированным армированием стеклопластиковыми и металлическими стержнями / В.В. Тур, В.В. Малыха // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наукових праць. – Рівне, 2012. – Вип. 24. – С. 271 – 281.
  9. Manfredi G. A refined R.C. beams elements including bond-slip relationships for the analysis of continuous beams / Manfredi G., Pecce M. // *Computer and Structures*, Volume 69, Issue 1, October 1998 – p.p. 53–62.
  10. Manfredi G. Experimental and Analytical Evaluation of Bond Properties of GFRP Bars / Manfredi G., Pecce M., Realfonzo R., Cosenza E. // *JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING* / JULY/AUGUST 2001 – p. 282–290.
  11. Cosenza, E. Bond characteristics and anchorage length of FRP rebars / Cosenza, E., Manfredi, G., Realfonzo, R. // *Proc., 2nd Int. Conf. on Advanced Compos. Mat. in Bridge Struct.*, M. El-Badry, ed., The Canadian Society of Civil Engineering, Montreal, Que´bec, Canada – p. 909–916.
  12. Cosenza, E. Behaviour and modeling of bond of FRP rebars to concrete / Cosenza, E., Manfredi, G., Realfonzo, R. // *J. Compos. for Constr.*, ASCE, 1(2) – p. 40–51.
  13. Cosenza, E., Il problema della lunghezza di ancoraggio nelle barre in plastica fibro rinforzata / Cosenza, E., Manfredi, G., Realfonzo, R. // *Proc., 11th Conf. of CTE*, Collegio Technici dell’industrializzazione Edilizia, Italy, Vol. 2 – p. 451–461 (in Italian).
  14. Лазовский, А.Д. Соппротивление изгибу многпустотных плит перекрытий безопалубочного формования в составе платформенных стыков зданий / А.Д. Лазовский // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения, Брест, 2017.

УДК 624

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ БЕТОНА И СТАЛЕФИБРОБЕТОНА  
В ДВУХСЛОЙНОМ СЕЧЕНИИ ПРИ ИЗГИБЕ И РАСКАЛЫВАНИИ****Б. Приев, Е. Генина**

Ариэльский университет, Израиль

e-mail: borisp@ariel.ac.il, evgenyag@ariel.ac.il

*Фибробетоны, под которыми подразумеваются дисперсно армированные различными волокнами мелкозернистые бетоны на цементном вяжущем, обладают более высокими, по сравнению с обычными бетонами, физико-механическими свойствами. Дисперсное армирование бетона значительно увеличивает прочность бетона на растяжение, истираемость, а также повышает морозостойчивость и водонепроницаемость бетонов. Это обусловлено тем, что в несущих элементах эти волокна воспринимают и одновременно перераспределяют растягивающие напряжения. Однако стоимость фибробетона выше чем стоимость обычного бетона. Поэтому использование комбинированных двухслойных сечений экономически целесообразно. Авторы приводят результаты исследования совместной работы двухслойных сечений при изгибе и раскалывании, которые подтверждают надежность соединения двух видов бетона.*

**Ключевые слова:** фибробетон, сталефибробетон, прочность бетона на растяжении при изгибе, прочность бетона при раскалывании, комбинированное двухслойное сечение.

**THE INVESTIGATION OF THE JOINT WORK OF CONCRETE AND FIBER REINFORCED CONCRETE  
IN COMPOSITE TWO-LAYER SECTION DURING BENDING AND SPLITTING****B. Prieв, E. Genin**

Ariel University, Israel

e-mail: borisp@ariel.ac.il, evgenyag@ariel.ac.il

*Fiber reinforced concrete, which means fine-grained concrete with a cement binder, reinforced with steel fibers, have higher physical and mechanical properties than conventional concrete. Dispersed concrete reinforcement by steel fiber significantly increases the tensile strength of concrete, abrasion, and also increases the frost resistance and water resistance of concrete. This is due to the fact that fibers perceive and at the same time redistribute tensile stresses. However, the cost of fiber concrete is higher than the cost of ordinary concrete. Therefore, the use of combined two-layer sections is economically feasible. The authors present the results of the investigation of the joint work of two-layer sections during bending and splitting, which confirm the reliability of the connection of two types of concrete.*

**Keywords:** fiber-reinforced concrete, steel-fiber concrete, tensile strength of concrete under bending, concrete strength during cracking, combined two-layer section.



Как известно фибробетоны, под которыми подразумеваются дисперсно армированные различными волокнами мелкозернистые бетоны на цементном вяжущем, обладают более высокими, по сравнению с обычными бетонами, физико-механическими свойствами, а именно значительно увеличиваются прочность на растяжение, истираемость, а также повышаются морозоустойчивость и водонепроницаемость бетонов. Это обусловлено тем, что в несущих элементах эти волокна как воспринимают, так и одновременно перераспределяют растягивающие напряжения. И это при условии, что волокна в теле бетона распределены равномерно и ориентированы хаотически или регулярно [1].

По материалу армирующего компонента различают:

- сталефибробетон, – если волокна из стали
- стеклофибробетон, – если фибры из стекловолокна. Изучены также волокна из базальта и различных полимерных материалов [2].

Остановимся на сталефибробетоне – это бетон на цементном вяжущем с максимальным размером крупного заполнителя не более 15мм. В эту смесь на стадии изготовления добавляются отрезки стальной проволоки диаметром от 0,25 до 1,0 мм и длиной 50 – 100 мм.

Помимо указанных выше улучшенных физико-механических характеристиках дисперсное армирование также улучшает деформативность бетона, его стойкость к ударным и динамическим воздействиям, а также трещиностойкость. Причем характер развития трещин в сталефибробетонных конструкциях резко отличается от характера развития трещин в железобетонных или армоцементных конструкциях.

Материал сталефибробетон был открыт и запатентован в Советском Союзе в 1947 году В.П. Некрасовым. И явно улучшенные его физико механические свойства предопределили дополнительные исследования материала, причем исследовались и совершенствовались как технология изготовления и укладки, так и методы расчета. Благодаря повышенной стойкости на истирание и устойчивости к динамическим воздействиям, стало возможным в ряде аэропортов мира залить покрытие взлетно-посадочных полос сталефибробетоном (Бельгия, Япония, Германия).

Повышенная водонепроницаемость плюс преднапряжение позволили запроектировать и изготовить большепролетные складки покрытия и отказаться от дорогого кровельного покрытия и от трудоемкого его ремонта в будущем. Такие складки были смонтированы на ряде объектов железнодорожного транспорта Московской области.

В 80-х годах в институте бетона (НИИЖБ) в Москве исследовался вопрос прочности сцепления бетонных поверхностей существующих конструкций с нанесенным позднее слоем сталефибробетона. Выяснилось, что наличие стальной фибры существенно повышает прочность сцепления нового и существующего слоев [1].

Исследование сталефибробетона продолжается и в настоящее время. Так экспериментальные исследования, проведенные Trevor D. Hrynyk and Frank J. Vecchio подтвердили увеличение прочности железобетонных плит со стальным дисперсным армированием. При этом дисперсное армирование положительно влияло на увеличение жесткости плит и сокращение ширины раскрытия трещин [3].

Эффективность двухслойных балок с дисперсным армированием стальной фиброй в сжатой зоне балок из высокопрочного бетона была подтверждена в опытах профессоров Якова Ицхакова и Юрия Рыбакова, поскольку стальные волокна повышают пластические свойства высокопрочного бетона [4,5].

Относительно высокая стоимость стальной фибры ограничивает конкурентоспособность дисперсного армирования бетона. Сравнительные испытания изгибаемых элементов показали, что несущая способность сталефибробетонных балок и балок с комбинированным сечением, сочетающим обычный бетон и сталефибробетон, практически одинакова [6].

В настоящее время сталефибробетон в основном используется в таких областях, как промышленные полы, несъемная опалубка стен. Помимо увеличения несущей способности, одним из основных преимуществ добавления волокон к бетону является потенциальное уменьшение ширины раскрытия трещин, что положительно влияет на долговечность конструкции [7,8].

В Израиле в последние годы, в связи с массовой застройкой городов, власти для каждого возводимого здания требуют устройства подземных стоянок. Иногда приходится возводить 3–4 уровня подвальных этажей, причем расстояние между колоннами здесь не менее 8–9 метров, и, как правило, несущие колонны или стены первого этажа не совпадают с местом расположения колонн подземных этажей. Тогда надземные колонны приходится опирать непосредственно на перекрытие. Это требует либо утолщения перекрытия, либо его локального усиления, поскольку в таких местах появляются значительные усилия продавливания (для справки одна колонна 8 – 9-этажного здания передает нагрузку примерно 1000 тонн).

В 2017 году автором было запроектировано преднапряженное монолитное перекрытие толщиной всего 40 см. Одна из колонн передавала на это перекрытие нормативную нагрузку 250 тонн при расстоянии между опорами порядка 10 метров. Даже максимально допустимое количество кабелей не решало в полной мере проблем продавливания. Тогда возникла идея усилить нижний слой сталефибробетоном. Так нижние 20 см сечения (половина его высоты) были залиты сталефибробетоном класса В50 и 40 кг стальных волокон на куб бетона. По окончании бетонирования нижнего слоя из сталефибробетона, сразу же был залит верхний слой из того же бетона В50, но без волокон. Заливка сопровождалась тщательным вибрированием, чтобы обеспечить проникновение слоев (рис. 1).

Паралельно для исследований были изготовлены призмы сечением 10x10x40 см. Серия двухслойных образцов (5+5)см, серия образцов полностью из сталефибробетона и несколько образцов из обычного бетона той же прочности. Наряду с призмами заливались также и по такому же принципу кубики с размерами ребр 10x10x10 см.

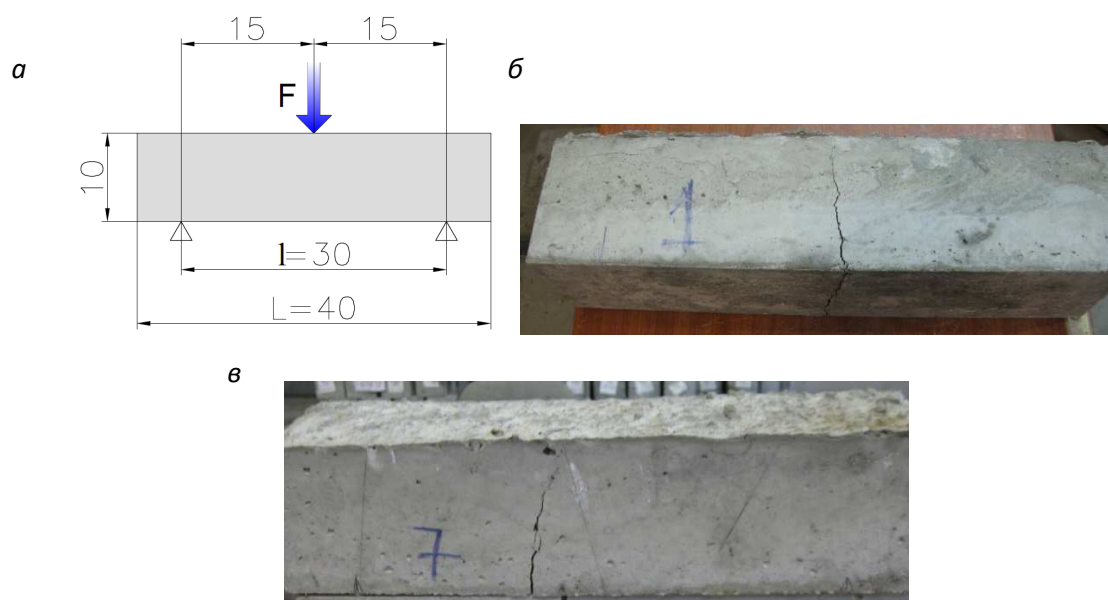
Цель и методика испытания опытных образцов:

- определение прочности на растяжение сталефибробетона в двухслойном сечении;
- определение характера трещинообразования и развития трещин;
- исследование совместной работы бетона и сталефибробетона.



**Рисунок 1. – Бетонирование двухслойного монолитного перекрытия**

Балки испытывались на изгиб по одинаковой статической схеме с постепенным нагружением сосредоточенной нагрузкой в середине пролета. Испытания проводились на стандартном оборудовании с автоматическим выводом результатов на компьютер и графический дисплей. Все призмы, содержащие 5-ти сантиметровый слой сталефибробетона, испытывались таким образом, чтобы этот слой всегда был в растянутой зоне и нагрузка передавалась перпендикулярно этому слою (рис. 2).



**а – схема испытания; б – характер разрушения двухслойной балки;  
в – характер разрушения сталефибробетонной балки**

**Рисунок 2. – Схема испытания балок на изгиб и характер разрушения опытных образцов**

Прочность балок на растяжение при изгибе определялась по методике европейского стандарта EN 12390-5, прочность бетона вычислялась по формуле

$$f_{ct,fl} = \frac{3FL}{2d_2d_1^2}$$

Таблица 1. – Прочность балок на растяжение при изгибе

Материал образцов	Номер образца	Размеры сечения		Разрушающая нагрузка, KN	Нагрузка образования трещин, KN	Разрушающий момент kNm	Прочность EN 12390-5 MPa
		высота см	ширина см				
		d1	d2	F	Fcr	M	f <sub>ct,fl</sub>
Комбинированное двухслойное сечение: бетон В50 и сталефибробетон	1	9.8	10	15.47		1.16	7.10
	2	9.8	9.5	17.182	15.07	1.29	8.74
	3	9.7	10.2	18.065	13.6	1.35	8.06
	4	10.1	9.8	20.738		1.56	9.62
	5	9.9	10	19.207		1.44	8.73
Среднее значение							8.45
Средне квадратичное отклонение							0.94
Бетон В50	6	9.9	10.1	15.96		1.20	7.26
Сталефибробетон	7	9.9	10	17.817		1.34	8.18

Разрушение балок происходило по нормальной трещине в сечении под прикладываемой нагрузкой с максимальным изгибающим моментом. Во всех образцах, на всех этапах нагружения, вплоть до разрушения, наблюдалась совместная работа бетона и сталефибробетона. Не наблюдались трещины или смещения слоев в плоскости контакта слоев. Разрушение всех балок, содержащих стальную фибру, было вязким и происходило вследствие текучести стали и последующего разрыва части стальной фибры (см рис. 4).

Испытание образцов на раскалывание проводилось на стандартном оборудовании (см. рис 3). Кубики испытывались на раскалывание с целью определения прочности на растяжение при раскалывании и изучения совместной работы двух материалов. Кубики раскалывались передачей нагрузки перпендикулярно фибробетонному слою или в плоскости шва между слоями.

Прочность бетона на растяжение при раскалывании определялась по формуле

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi d_1 d_2}$$

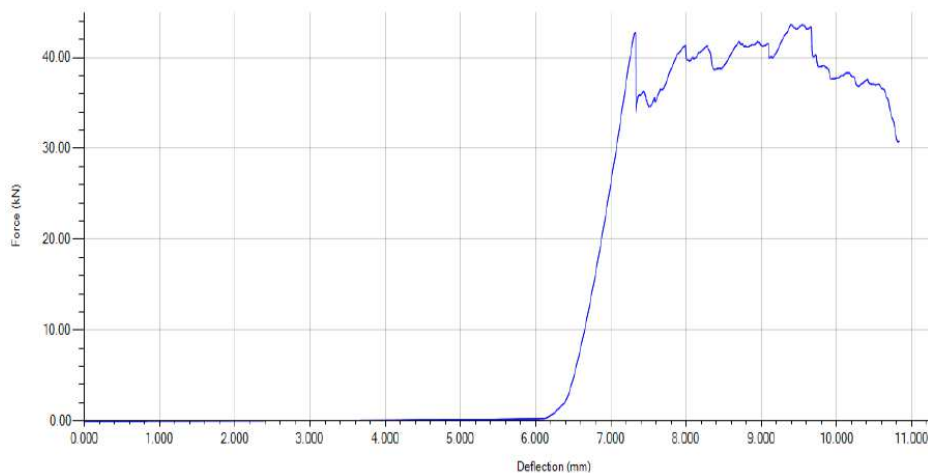
Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Во всех случаях разрушение балок и кубиков, содержащих стальные волокна, было вязким. И кубики, и балки разрушились по критической трещине, которая образовалась первой (см. рис 2, 3). Во всех случаях испытания образцов со стальной фиброй, после образования первой трещины, испытуемый образец продолжал сопротивляться, а кривая на графике продолжала ползти в верх (см. рис 4). Следует также отметить, что при испытаниях абсолютно всех образцов не наблюдалось расслоения слоев из сталефибробетона и из обычного бетона.



***а*** – схема испытания; ***б*** – комбинированное сечение двуслойного образца; ***в*** – характер разрушения образца с комбинированным двуслойным сечением при раскалывании перпендикулярно слоям, фибробетон внизу; ***г*** – характер разрушения образца с комбинированным двуслойным сечением при раскалывании в плоскости шва между слоями

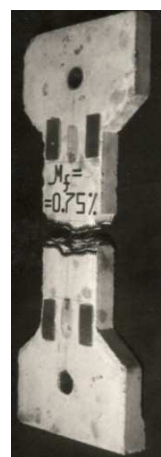
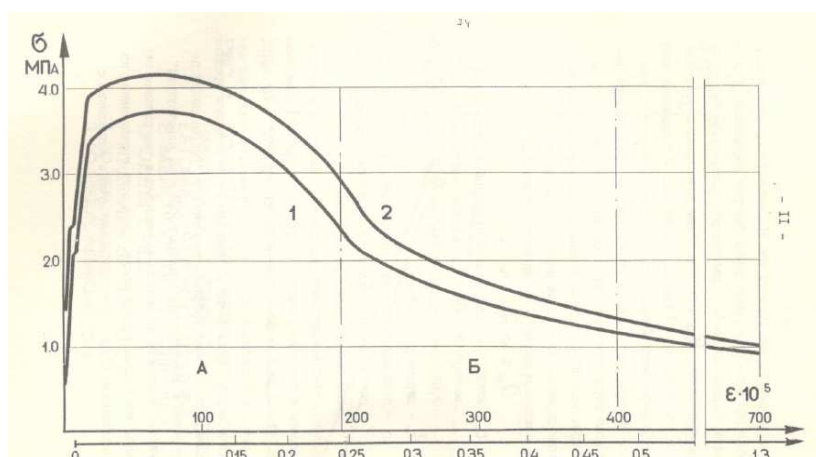
**Рисунок 3. – Схема испытания образцов на раскалывание и характер разрушения опытных образцов:**



**Рисунок 4. – Развитие деформаций при испытании двуслойного образца**

Таблица 2. – Прочность на растяжение при раскалывании

Материал образцов	Направление нагрузки	Номер образца	Размеры сечения, см		Нагрузка образования трещин, КН	Разрушающая нагрузка, КН	Напряжение, МПа	Прочность на растяжение при раскалывании
			высота	ширина				
			d1	d2				
Комбинированное двухслойное сечение: бетон В50 и сталефибробетон	Перпендикулярно слоям	2	9.9	10		69.2	4.45	
		2'	9.9	10		57.16	3.68	
		2''	9.9	10		43.65	2.81	
	Среднее						3.65	2.30
	Параллельно слоям	5	10.00	16.50		60.00	2.32	
		5	10.10	15.40		70.74	2.90	
Среднее						2.61	1.94	
Бетон В50	бетон	6	9.7	9.9		30	1.99	
		8	9.4	9.8		31.82	2.20	
		Среднее						2.09
Комбинированное двухслойное сечение: бетон В50 и сталефибробетон	Перпендикулярно слоям. Нижний слой FRC	3А	10.2	9.5	18.15	60.98	4.01	
		3В	10.6	9.6	28.88	56.85	3.56	
		1А	10.4	10.2	23.51	41.76	2.51	
		1В	10.5	10.2	22.26	49.65	2.95	
		4А	10.3	10.4	61.44	63.28	3.76	
		4В	10.1	10.3		48.3	2.96	
Среднее						3.29	2.35	
Фибробетон (FRC)		7А	10.2	9.8	25.62	69.25	4.41	
		7В	10.2	9.9	55.91	83.43	5.26	
		Среднее						4.84



Ширина раскрытия трещин, мм

- 2 – процент дисперсного армирования  $\mu_f=1,5\%$ ;  
 1 – процент дисперсного армирования  $\mu_f=0,75\%$

Рисунок 5. – Развитие деформаций и ширины раскрытия трещин при испытании сталефибробетона на осевое растяжение

Также по результатам испытаний построен общий усредненный график зависимости прочность – деформации. Сравнивая этот график с аналогичным графиком, полученным автором по результатам испытаний сталефибробетонных восьмерок на осевое растяжение, можно увидеть схожесть очертания этих графиков (см. рис. 5). До образования первой трещины – график – это прямая линия, затем четко прослеживается порог трещинообразования, затем продолжение набора прочности уже по кривой, т.е. здесь набор прочности происходит медленнее чем растут деформации. Достигнув аппогея, начинается разгрузка. На первом этапе разгрузки кривая также выпуклая – это говорит

о том, что здесь падение напряжения медленнее, чем рост деформаций, а затем кривая графика становится вогнутой, т.е. на этом участке деформации растут быстрее, чем падает напряжение. Весь участок падения напряжения на графиках объясняется вязкостью разрушения. Порог изменения ниспадающей кривой с выпуклой на вогнутую может быть принят за критерий прочности материала. Это, в свое время, было предложено автором в методике расчета изгибаемых сталефибробетонных элементов на срез.

**Выводы:**

1. К настоящему времени накоплен определенный положительный опыт применения двуслойных конструкций. В случае, когда колонны опираются на перекрытие и передают на него большие нагрузки, было решено локально, только под этими колоннами, залить определенную часть перекрытия по высоте сталефибробетоном и продолжить заливку сразу же, не прерывая процесс, обычным бетоном. Площадь заливки сталефибробетоном эквивалентна площади продавливания, которая рассчитывается заранее.

2. Испытания балок с комбинированным двухслойным сечением показало, что во всех образцах, на всех этапах нагружения, вплоть до разрушения, наблюдалась совместная работа бетона и сталефибробетона. Не наблюдались трещины или смещения слоев в плоскости контакта слоев. Разрушение всех балок, содержащих стальную фибру, было вязким и происходило вследствие текучести стали и последующего разрыва части стальной фибры.

3. Результаты испытаний образцов на раскалывание показали, что не наблюдалось расслоения слоев из сталефибробетона и из обычного бетона.

4. Во всех случаях разрушение балок при изгибе и кубиков при раскалывании, (содержащих в растянутой зоне стальные волокна), было пластичным, вязким. После образования первой трещины стальные волокна воспринимали растягивающие напряжения, достигающие предела текучести.

5. Сочетание отмеченных свойств сталефибробетона с передовыми технологиями, такими как преднапряжение в построечных условиях, торкретирование, локальная или послойная заливки могут в значительной мере повысить качество и несущую способность сооружений, сократив при этом их себестоимость и затраты труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. Монография – М.: Издательство АСВ, 2004.– 560с.
2. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций. Москва, 1987
3. Trevor D. Hrynyk, Frank J. Vecchio. Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete Slabs under Impact Load. ACI Structural Journal, V. 111, No. 5, September-October 2014, p 1213–1224.
4. I. Iskhakov, Y. Ribakov. A design method for two-layer beams consisting of normal and fibered high strength concrete. Materials and Design. Volume 28, 2007. Pages 1672–1677
5. I. Iskhakov, Y. Ribakov, K. Holschemacher, T. Mueller. High performance repairing of reinforced concrete structures. Materials and Design. Volume 44, 2013. Pages 216–222

6. Inmaculada Martínez-Pérez, Juozas Valivonis, Remigijus Šalna and Alfonso Cobo-Escamilla. Experimental study of flexural behaviour of layered steel fibre reinforced concrete beams. *Journal of Civil Engineering and Management*, Volume 23 No 6, 2017. Pages 806–813
7. A. Jansson, K. Gylltoft, I. Löfgren, Design methods for fibre-reinforced concrete: a state-of-the-art review. 2008
8. J.A.O. Barros, V.M.C.F. Cunha, A.F. Ribeiro and J.A.B. Antunes. Post-cracking behaviour of steel fibre reinforced concrete. *Materials and Structures*. Volume 38 (January-February 2005). Pages 47–56



УДК 69.04:697.841:624.971

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НДС ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

**В.В. Гринёв<sup>1</sup>, А.Н. Пидложевич<sup>2</sup>, А.С. Пузан<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Институт БелНИИС, Республика Беларусь

e-mail: vgv2222@mail.ru<sup>1</sup>, aleksandr.pidlozhevich@gmail.com<sup>2</sup>, a.puzan@eneca.by<sup>3</sup>

*Наряду с проведением в Республике Беларусь дистанционного диагностирования ответственных мостов и путепроводов авторы настоящей работы предлагают внедрить дистанционный мониторинг дымовых труб стратегических объектов (ГРЭС, ТЭЦ, промышленные предприятия). Постановка цели, принятые алгоритмы соответствуют требованиям действующих норм проектирования и обслуживания. Проведенная работа выявила новые аспекты диагностирования дымовых труб.*

**Ключевые слова:** дымовые трубы, дистанционный мониторинг, моделирование, остаточный ресурс, деформации.

## DETERMINATION OF THE CONDITION OF THE OPERATED CHIMNEYS BY RESULTS OF REMOTE MONITORING

**V. Griniov<sup>1</sup>, A. Pidlozhevich<sup>2</sup>, A. Puzan<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Institute BelNIIS RUE, Republic of Belarus

e-mail: vgv2222@mail.ru<sup>1</sup>, aleksandr.pidlozhevich@gmail.com<sup>2</sup>, a.puzan@eneca.by<sup>3</sup>

*Along with conducting remote diagnostics of critical bridges and overpasses in the Republic of Belarus, the authors of this work propose the introduction of remote monitoring of chimneys of strategic facilities (state district power plants, thermal power plants, and industrial enterprises). Goal setting, adopted algorithms comply with the requirements of current design and maintenance standards. The work carried out revealed new aspects of chimney diagnostics.*

**Keywords:** chimneys, remote monitoring, modeling, residual life, deformation.

**Введение.** В настоящее время в Республике Беларусь произошли существенные изменения в практике строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Возросли требования к их надежности и долговечности.

Развитие компьютерной техники и программного обеспечения, позволяет моделировать конструкции и воздействия на них. Удешевление производства новых поколений датчиков (тензометры, инклинометры, вибросчетные), позволяет применять их шире. Дистанционная передача данных о напряженно-деформированном состоянии (НДС) конструкций в режиме реального времени облегчает их анализ.

Дымовые трубы являются распространенными, ответственными и дорогостоящими инженерными сооружениями, работающими в чрезвычайно тяжелых условиях: под воздействием высоких ветровых нагрузок, перепадов температуры и агрессивных дымовых газов, движущихся внутри трубы. Высота труб варьируется от 20 м до 420 м. Самые высокие железобетонные трубы в Республике Беларусь находятся на Лукомльской ГРЭС, их высота составляет 250 м. От агрессивности среды значительно снижается расчетный срок службы дымовых труб. Учитывая, что их средний возраст эксплуатации превышает 50 лет (а в некоторых случаях гораздо больше), возникает необходимость диагностики и осмотра сооружений.

В последние годы отмечается резкое повышение количества дымовых труб, пришедших в аварийное состояние. Нестабильный режим эксплуатации и перевод электростанций и котельных на непроектные режимы эксплуатации (в основном с мазута на газообразное топливо), имевшие место в последние 15-20 лет привели к ускоренному разрушению конструкций дымовых труб.

Обследование дымовых труб и определение их остаточного ресурса является сложной и дорогостоящей работой с учетом короткого времени останова.

Организация непрерывного измерения динамики внутренних механических напряжений, позволит снизить уровень риска разрушения объекта в процессе эксплуатации за счет обнаружения отклонений параметров объекта от проектных значений на ранней стадии их возникновения.

**Цель работы:** усовершенствование методики определения напряженно-деформированного состояния дымовых труб и возможности использования беспроводных датчиков линейных перемещений.

Объект исследования — высотные дымовые трубы. Предмет исследования — НДС железобетонных кольцевых сечений.

**Метод исследования:** описательный, анализ, математический, методы определения напряжений материала по деформациям.

**Основная часть.** Для выявления изменений НДС конструкций в настоящее время используются динамические методы зондирования зданий и сооружений, основанные на измерении периодов и логарифмических декрементов собственных колебаний зданий и сооружений. Для определения остаточного ресурса к вышеописанным методам необходимо добавить значения фактических напряжений от силовых воздействий.

Для проведения экспериментальных работ организацией ООО "Сенсотроника" были предоставлены датчики перемещения, модели IG-BLS-03. Для определения их возможностей поставленным целям, в лаборатории БНТУ были проведены экспериментальные испытания на опытных бетонных призмах (100x100x300) на сжатие.

Испытание на сжатие проводили на прессе (60 т) модели «Matest», наряду с беспроводными датчиками (Т1, Т2) для определения деформаций использовали механические (ИЧ1, ИЧ2) (рис.1).

Беспроводными датчики устанавливались с базой 130 мм, механические с базой 230 мм.

Результаты испытания оформлены в виде графиков зависимости «напряжение-относительное удлинение» представлены на рис. 2, 3.

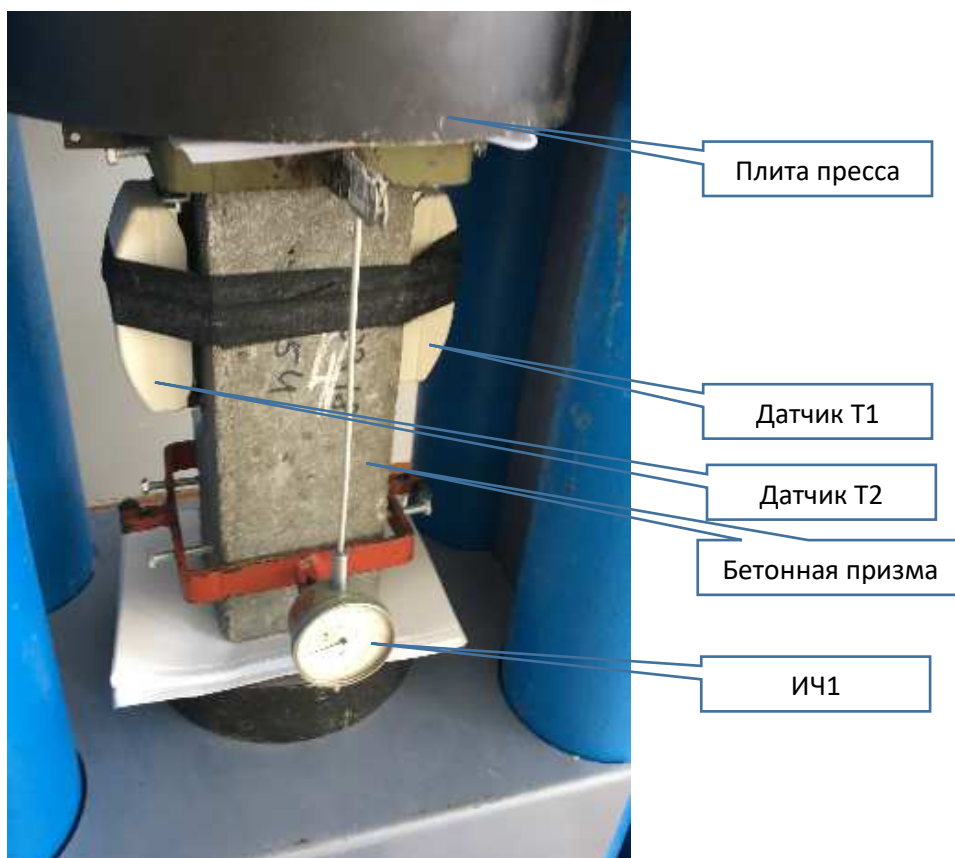


Рисунок 1. – Общий вид испытания

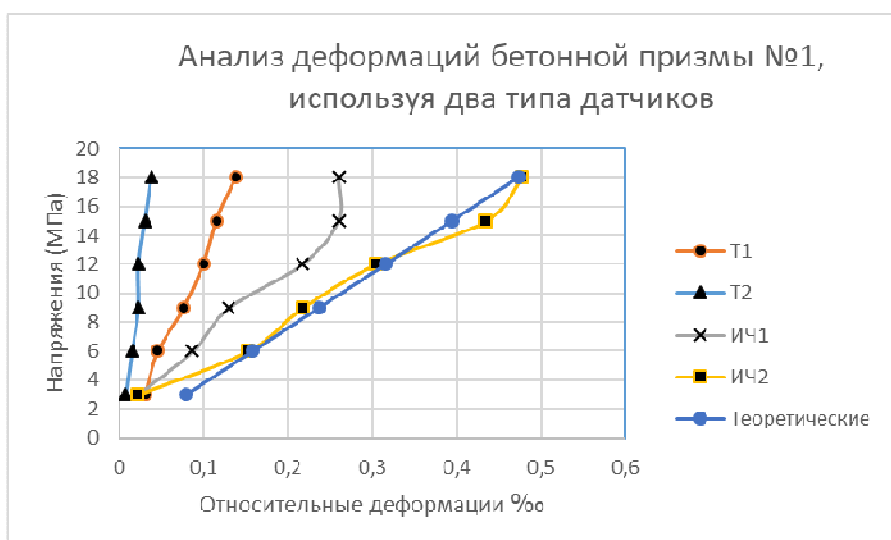
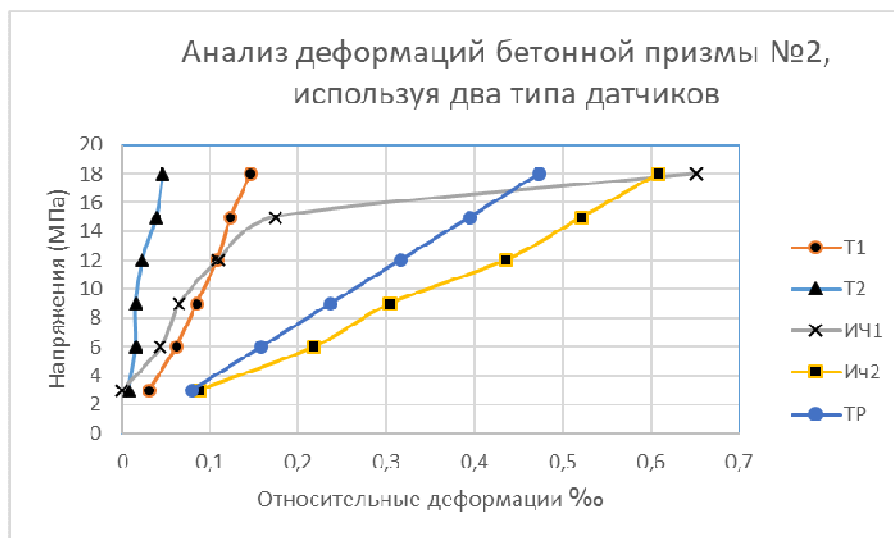


Рисунок 2. – Зависимость «напряжение - относительное удлинение» призмы №1 по показаниям:

Т1, Т2 – электронных тензометров; ИЧ1, ИЧ2 – механических тензометров;  
 ТР – теоретически-расчетные значения



**Рисунок 3. – Зависимость «напряжение - относительное удлинение» призмы №2**

**по показаниям:**

**T1, T2 – электронных тензометров; ИЧ1, ИЧ2 – механических тензометров;**

**ТР – теоретически-расчетные значения**

Наряду с показаниями четырех приборов (Т1, Т2, ИЧ1, ИЧ2) на графике приведен теоретический участок (ТР) деформирования мелкозернистого бетона С30/37, с модулем упругости 30 ГПа.

Диапазон работы датчиков имел определенный разброс, связанный с небольшим уровнем нагружения и малым количеством испытаний (две призмы). Указанные недостатки будут устранены в последующих работах.

При точности датчиков «Т» в 1 мкм и возможностью снятия показаний в любом промежутке времени можно определять напряжения на поверхности бетона с достаточной точностью путём регулирования базы и количество показаний. При испытаниях призм частота снятия показаний составляла 10 с, с автоматической записью в файл.

При увязке показаний датчиков с показаниями цифрового анемометра, возможно анализировать механические напряжения в зависимости от времени порывов ветра.

Из всех климатологических воздействий решающим при проектировании высотных сооружений является ветровое. Расчетная ветровая нагрузка для высотных сооружений консольного типа определяется с учетом динамического воздействия пульсаций скоростного напора, вызываемых порывами ветра. Динамическая составляющая ветровой нагрузки к статическому действию скоростного напора является следствием инерционных сил, возникающих при горизонтальных колебаниях сооружения, и зависит от интенсивности и спектрального состава пульсации скоростного напора и от периодов и форм собственных колебаний сооружения. Динамическая составляющая, вызываемая пульсациями скоростного напора, должна учитываться при расчете сооружений с периодом собственных колебаний более 0,25 сек (дымовых труб, мачт, башен, опор линий электропередачи) /3, 5, 8/.

Для уточнения НДС при ветровых воздействиях были выполнены ряд работ /1, 4, 6, 7/, по определению напряжений по наружной поверхности дымовых труб.

В качестве исходных данных для разработки объемной модели и сбора ветровой нагрузки, использовался типовой проект дымовой трубы.

Вся модель (рис. 4.) представлена объемными конечными элементами типа «КЭ 36» (универсальные пространственные восьмиузловые изопараметрические конечные элементы).

Данный тип конечных элементов предназначен для прочностного расчета континуальных объектов и массивных пространственных конструкций.

Местные оси КЭ направлены следующим образом:

X1 — вертикально вверх (на рисунке обозначены стрелками зеленого цвета);

Y1 — радиально от центра (на рисунке обозначены стрелками синего цвета);

Z1 — по касательной к окружности, соответствующей кольцевому сечению (на рисунке обозначены стрелками красного цвета) рис. 5.

Конечные элементы по форме и габаритам приближены к кубам стороной 200 мм. По толщине стенки ствола располагаются от двух до четырех КЭ 36.

Для бетона приняты следующие характеристики:

$$E = 30 \text{ ГПа}; \nu = 0.2; \rho = 2500 \text{ кг/м}^3.$$

Ветровая нагрузка на дымовые трубы определяется как сумма средней (статической) и пульсационной (динамической) составляющих, для сбора ветровой нагрузки принято значение базовой скорости ветра 24 м/с.

По результатам анализа определён диапазон напряжений 0.3...0.67 МПа, с учетом ослаблений ствола проемами рис. 6. Указанный диапазон напряжений диагностируется при использовании датчиков с точностью измерения 1 мкм при базе 300...500 мм, при перепрограммировании датчика до точности 0.5 мкм базу можно уменьшить.

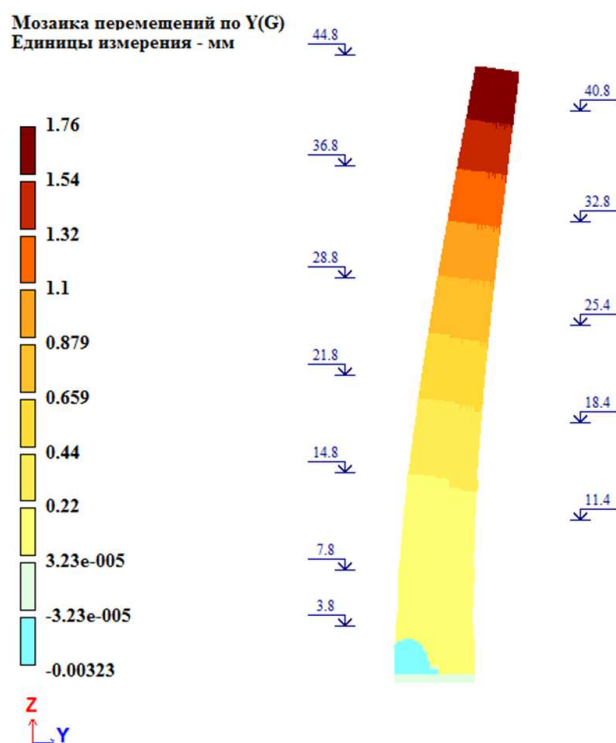


Рисунок 4. – Расчетная схема дымовой трубы с мозаикой перемещений

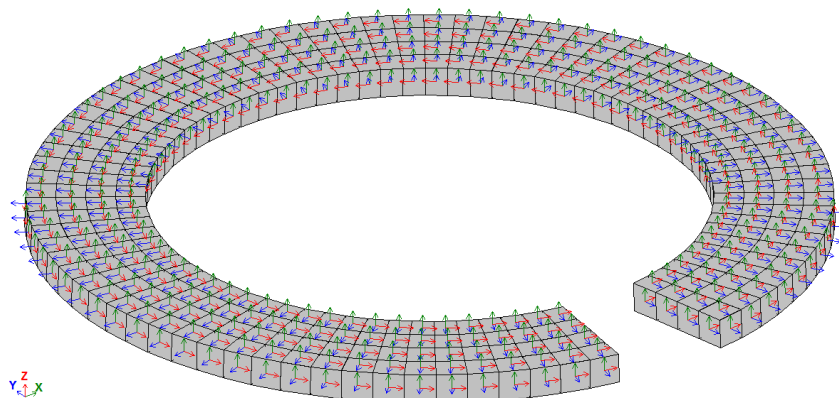


Рисунок 5. – Поперечный разрез дымовой трубы на участке входа газохода, с указанием местных осей в объемных КЭ

Изополя напряжений по  $N_x$   
Единицы измерения - МПа

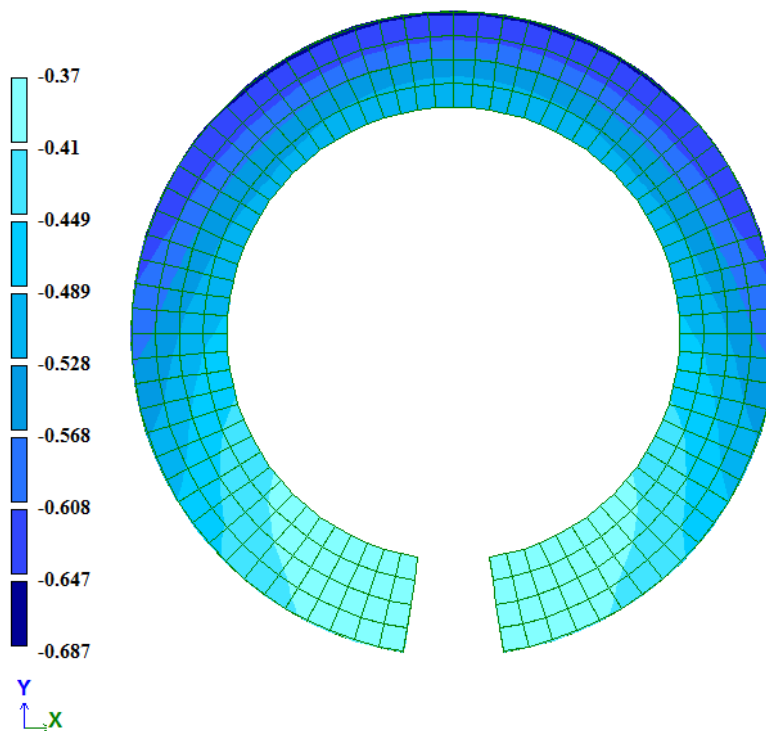


Рисунок 6. – Распределение напряжений с указанием их значений

**Выводы:**

1. Точность датчиков и их программное обеспечение позволяет дистанционно проводить анализ напряжений в оболочке трубы от внешних воздействий.
2. Разброс показаний на графиках деформирования рис. 2, 3 указывает на необходимость точной калибровки как механических, так и электронных датчиков перемещения. Для статистической обработки необходимо выполнение большего количества испытаний.

3. Результаты, полученные по расчету конечно-элементной твердотельной модели необходимо подтвердить натурными исследованиями.

4. Комплексный анализ: деформаций оболочки, прогибов и частот колебаний за определенный период (1...2 года) позволит с большой степенью вероятности определить остаточный прочностной ресурс дымовой трубы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пузан, А. С. Напряженно-деформированное состояние каменной кладки кольцевых сечений: дис. ... маг. тех. наук: 1-70 80 01 / А.С. Пузан. – Минск, 2016. – 69 с.
2. Пидложевич, А. Н. Расчет высотных сооружений на внешние воздействия: дис. ... маг. тех. наук: 1-70 80 01 / А. Н. Пидложевич. – Минск, 2017. – 80 с.
3. Дымовые трубы / А.М. Ельшин [и др.]; под общ. ред. С.В. Сатьянова. – Москва: Стройиздат, 2001.
4. Корсун, В.И., Виноградова, Т.Н., Калмыков, Ю.Ю., Волков, А.С. Сопоставительный анализ результатов расчетов ствола дымовой трубы  $n=250$  м на действие ветровой нагрузки // Современное промышленное и гражданское строительство. – Том 6, N1. – 2010. – С. 5-13.
5. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. – Москва, 1978. – 216 с.
6. Pallarés, F.J., Ivorra, S., Adam, J. M. (2009) Monitoring masonry chimneys with operational modal analysis: 3rd International Operational Modal Analysis Conference. (IOMAC 2009). Ed. Starrylink Editrice, pp. 401-407.
7. Vermeltoort, A.T. (2005) Preservation and stability of industrial masonry chimneys. Structural Analysis of Historical Constructions - Modena, Lourenço & Roca (eds). Taylor & Francis Group, London, pp. 1413-1420.
8. Симиу, Э., Сканлан, Р. Воздействие ветра на здания и сооружения / Пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецово́й; Под ред. Б.Е. Маслова. – М.: Стройиздат, 1984. – 360 с., ил. – Перевод. Изд.: Wind Effects on Structures / E. Simiu, R. Scanlan (1978).

УДК 624.131(575.172)

## К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИСЯЧИХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ г. НУКУСА

**И.К. Аимбетов<sup>1</sup>, Р.Т.Бекимбетов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан, Нукус

<sup>2</sup>Каракалпакский государственный университет, Нукус  
e-mail: r.bekimbetov@mail.ru

*В статье приводятся результаты расчетов несущей способности висячих свай в условиях г. Нукус. Представлены расчеты забивных свай длиной 3,0; 5,0 и 8,0 м, с поперечным сечением 25x25 и 30x30 см. На основе расчетов в 41 различных точках г. Нукуса приведены максимальные, минимальные и средние несущие способности свай. Установлено, что зависимость несущей способности свай от длины имеет линейный характер.*

**Ключевые слова:** висячие сваи, несущая способность свай, длина свай, линейная зависимость

## TO THE QUESTION DESIGNING OF PILE FOUNDATIONS IN THE NUKUS CITY

**I. Aimbetov<sup>1</sup>, R. Bekimbetov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Karakalpak Research Institute of Natural Science. Karakalpak Branch Academy Science of the Academy Science of Uzbekistan, Nukus

<sup>2</sup>Karakalpak State University, Nukus  
e-mail: r.bekimbetov@mail.ru

*The results of calculations of the of pile foundations of the Nukus city conditions are shown in the article. Was calculate of the bearing capacity of pile with length 3,0; 5,0 and 5,0 meters, with section size 25x25 and 30x30 sm. Was determined maximum, minimal and middles values of the bearing capacity of pile in 41 points of Nukus. Was determined that relations between of length and of the bearing capacity of pile has linear character.*

**Keywords:** hanging piles, bearing capacity of piles, pile length, linear relationship

В настоящее время в г. Нукусе планируется строительство ряда современных зданий и сооружений. Фундаменты построенных и проектируемых зданий г. Нукуса в основном имеют ленточную конструкцию неглубокого заложения. При этом в качестве оснований используются в основном аллювиальные четвертичные отложения.

Следует отметить, что в определенных условиях более дешевым и надежным решением по сравнению с ленточными фундаментами является проектирование свайных фундаментов. Это решение особенно оправдывает себя при проектировании высотных зданий, где в основание передаются значительные нагрузки и когда верхние слои грунтов обладают недостаточной несущей способностью.



Анализ существующих проектов зданий, построенных в г. Нукус показывает, что у проектировщиков нет опыта по проектированию свайных фундаментов.

Для предварительного принятия решений по проектированию свайных фундаментов в городе Нукус необходима систематизированная информация о несущей способности свайных фундаментов.

Для оценки несущей способности свайных фундаментов на основе архивных материалов инженерно-геологических изысканий были подсчитаны несущие способности свайных фундаментов для различных точек г. Нукус. На рисунке 1 представлена карта-схема г. Нукуса с указанием мест инженерно-геологических изысканий.

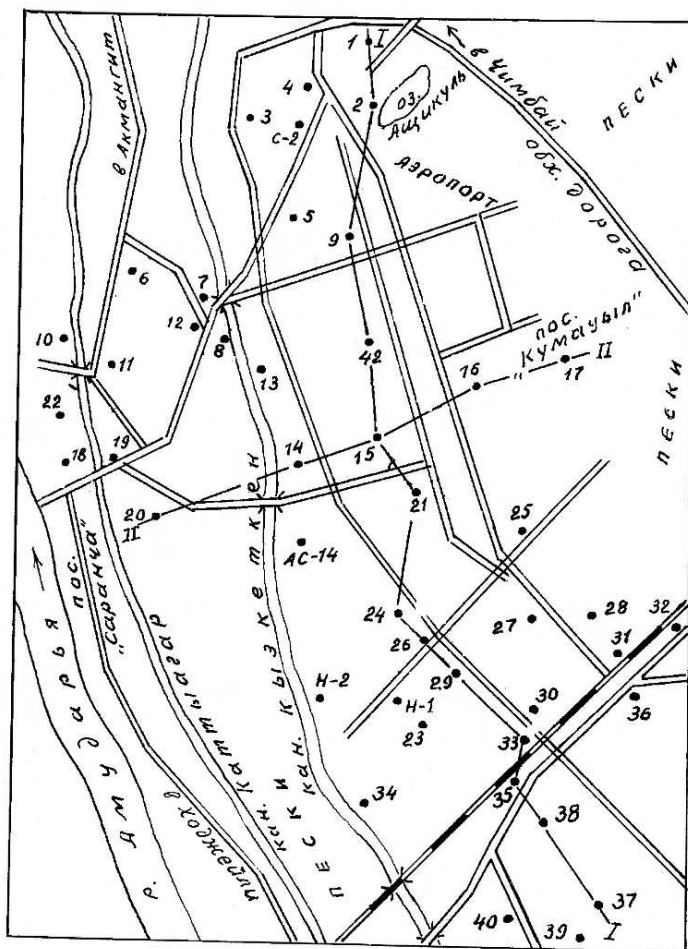


Рисунок 1. – Карта-схема исследованной территории и расположения скважин

Результаты архивных материалов инженерно-геологических изысканий г. Нукус показали, что в основном изыскания были проведены до глубины 8-10 м.

Нукус расположен на повышенной части правобережья современной дельты Амударьи и представляет собой равнину, сложенную аллювиально-дельтовыми отложениями, которые охватывают пойму и подпойменные террасы. Она имеет слабый уклон на север и северо-запад. В этом же направлении территория города пересекается крупным ирригационным каналом «Дослык».

На исследованной территории города наиболее широко распространены четвертичные аллювиальные отложения Амударьинского комплекса (АIQ<sub>4</sub>), которые представлены переслаивающимися толщами песков, супесей, и глин. Эти толщи подстилаются прослойками верхнемелового отложения, представленными выветрелыми и трещиноватыми известняками. Первая прослойка мощностью 0,7-1 м залегает на глубине 5-9 м. Исследования показали, что известняки по прочности варьируют от рыхлых до малопрочных. Поэтому в рыхлых известняках можно применять висячие сваи, а в малопрочных сваи-стойки. Следует отметить, что известняки малоизучены.

На рисунке 2 представлены инженерно-геологические разрезы г. Нукуса.

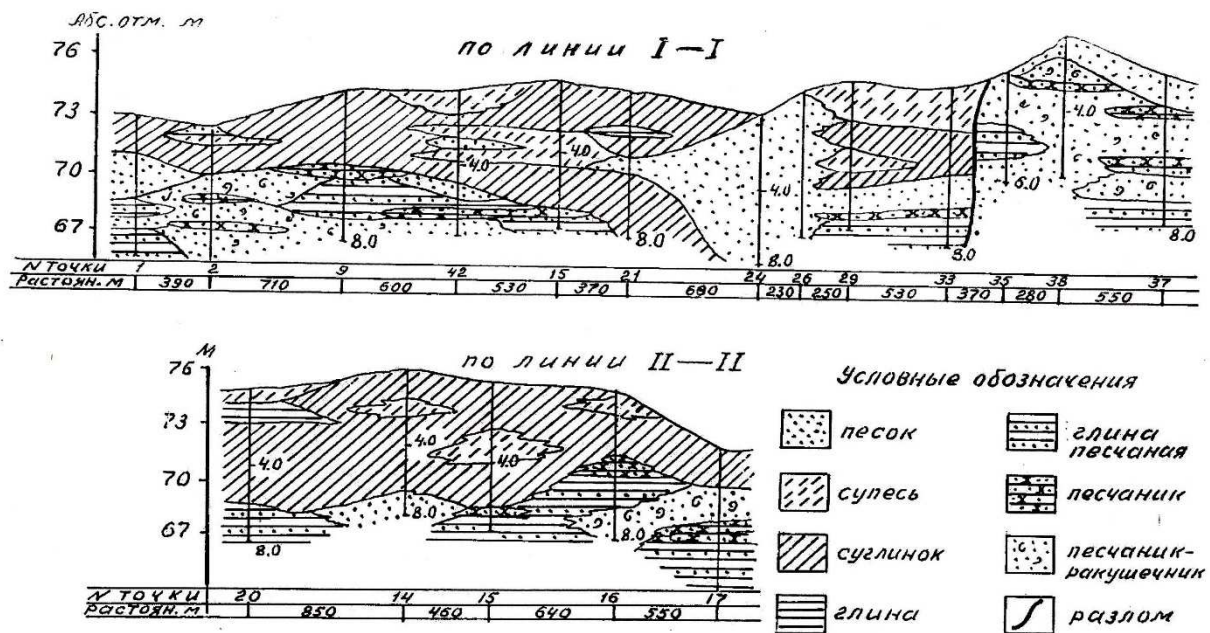


Рисунок 2. – Инженерно-геологические разрезы г. Нукуса

Для оценки несущей способности висячей сваи по грунтам была использована следующая формула [1]:

$$Fd = \gamma_c (\gamma_{cr} \cdot R \cdot A + u \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i), \quad (1)$$

где

$Fd$  – несущая способность висячей забивной сваи и сваи-оболочки;

$R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимаемое по табл.1 [1].

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый  $\gamma_c = 1$

$R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемый по табл. [1]:

$A$  – площадь опирания на грунт сваи, кв.м, принимаемая по площади поперечного сечения камуфлетного уширения по его наибольшему диаметру, или по площади сваи-оболочки нетто;

$u$  – наружный периметр поперечного сечения сваи, м;  
 $f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания на боковой поверхности, кПа, принимаемое по табл. 2 [1].

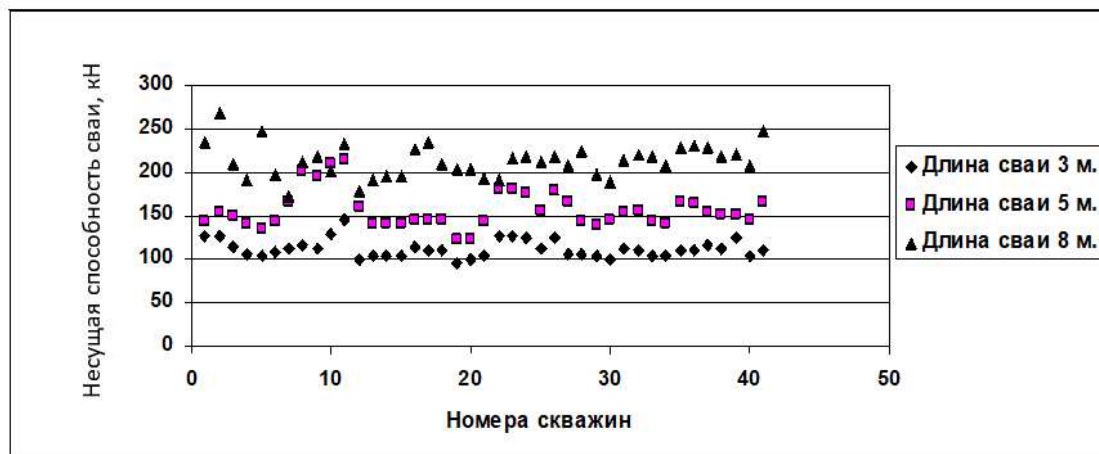
$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасавшегося с боковой поверхностью сваи, м;  
 $\gamma_{cr}, \gamma_{cf}$  – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта принимаемые по табл. 3 [1]. В расчетах приняты следующие значения коэффициентов:  $\gamma_{cr} = 1.0$ ;  $\gamma_{cf} = 0.5$

Для расчетов были использованы результаты определений физико-механических показателей грунтов, взятых из архивных материалов. Физико-механические показатели были определены на грунтах, отобранных из скважин, приведенных на рис. 1.

При расчетах длина сваи была принята 3,0; 5,0 и 8,0 м.

На рисунке 3 представлены результаты расчетов несущей способности свай.

а



б



а – поперечное сечение 25x25 см; б – поперечное сечение 30x30 см

Рисунок 3. – Несущая способность свай г. Нукуса

В таблице №1 приведены максимальные, минимальные и средние значения несущей способности свай различной длины с поперечными сечениями 25х25 см и 30х30 см.

Таблица 1. – Несущая способность свай (кН)

Максимальные, минимальные и средние значения	Поперечное сечение 30х30 см			Поперечное сечение 25х25 см		
	Длина сваи, м			Длина сваи, м		
	3,0	5,0	8,0	3,0	5,0	8,0
максимальные	225,0	283,2	343,4	146,25	213,9	268,7
минимальные	124,2	168,0	236,4	96,0	123,8	172,4
средние	146,1	210,3	278,9	113,0	157,6	213,7

На рисунке 4 представлены зависимости несущей способности свай с поперечными сечениями 25х25 и 30х30 см от длины сваи.

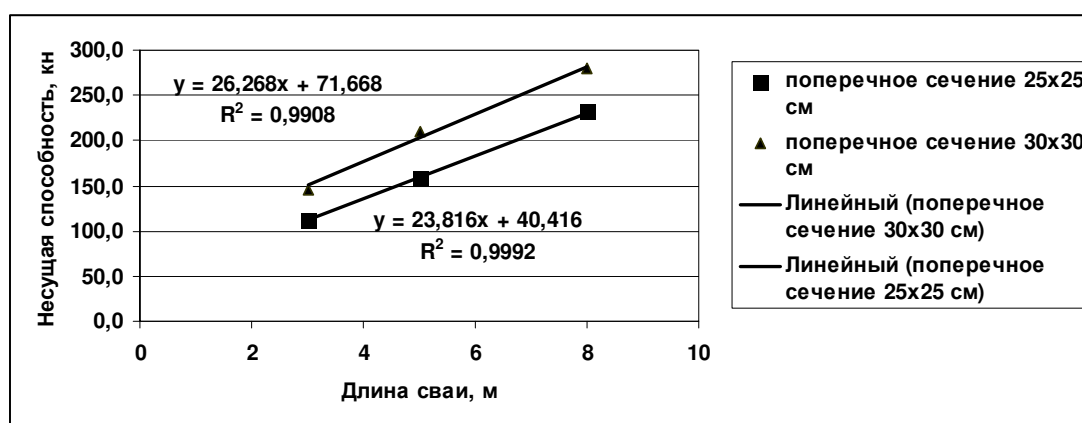


Рисунок 4. – Зависимость несущей способности свай от длины сваи

#### Выводы:

1. Результаты расчетов забивной висячей сваи в условиях г. Нукуса показали, что в зависимости от длины и поперечного сечения сваи несущая способность сваи изменяется в среднем от 113 до 213,7 кН.

2. Результаты расчетов показали, что зависимости несущей способности свай от длины аппроксимируются линейной зависимостью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Свайные фундаменты: КМК 2.02.03-98. – Введ. 01.04.98. – Государственный комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству, 1998. – 74 с.
2. Основания зданий и сооружений на территории Республики Узбекистан: КМК 2.02.01-98. – Утв. Приказом Госархитектстроя РУз от 20.01.98 № 7. – Введ. 01.04. 98.
3. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М: Стройиздат, 1985. – 479 с.
4. Аимбетов, И.К., Сейтниязов, Ш. Некоторые инженерно-геологические исследования г. Нукуса. / И.К. Аимбетов, Ш. Сейтниязов // Вестник Каракалпакского отделения АН РУз, №1. – 1998. – С. 22–24.

УДК 624.012.3

## СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ КОНТАКТНОГО ШВА СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

**Е.Г. Кремнева**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: e.kremneva@psu.by

*В статье рассмотрены экспериментальные исследования сопротивления сдвигу контактного шва составных конструкций с использованием двух и трех компонентных цементных систем. Отмечена целесообразность применения композиций на основе цементных систем в составных бетонных конструкциях.*

**Ключевые слова:** составная бетонная конструкция, сопротивление сдвигу, старый бетон, бетон намоноличивания, композиции на основе цементных систем, контактный шов.

## SHEAR RESISTANCE OF CONTACT SEAM OF COMPOSITE CONCRETE STRUCTURES USING CEMENT SYSTEM BASED COMPOSITIONS

**A. Kremneva**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: e.kremneva@psu.by

*The article considers experimental studies of shear resistance of the contact seam of composite structures using two and three component cement systems. The expediency of using the compositions in composite concrete structures was noted.*

**Keywords:** composite concrete structure, shear resistance, old concrete, new concrete, cement system based compositions, contact seam.

Совместная работа составных бетонных и железобетонных конструкций и ее надежная эксплуатация невозможна без обеспечения прочности контактного шва. Контактный шов в общем случае представляет собой соединение как минимум двух элементов, например, соединение нового бетона со старым бетоном при усилении; сборных элементов с монолитным бетоном в сборно-монолитных конструкциях, при устройстве технологических швов в монолитном строительстве; а также при замоноличивании стыков в сборном строительстве [1-5].

В последнее время на строительном рынке появилось достаточно большое количество разнообразных составов (композиций) которые предназначены для упрочнения поверхностного слоя конструкций и которые также способны создавать гидроизоляционные, морозостойкие и химически стойкие слои.

Однако, вопрос о влиянии таких композиций на прочность контактного шва, на наш взгляд, еще недостаточно изучен.

Для определения влияния композиций на основе цементных систем на прочность контактного шва в Полоцком государственном университете нами были проведены соответствующие экспериментальные исследования. В общем случае конструкции для экспериментальных исследований состояли из старого бетона (сборного), монолитного бетона (нового) и прослойки из композиционной смеси. Фактически исследования проводились для двух контактных швов: - между прослойкой (композицией) и старым (сборным) бетоном, и между композицией и новым бетоном (бетоном намоноличивания).

Были выполнены три серии образцов.

Серия Г-1: Г-образные составные конструкции, состоящие из старого бетона и намоноличеного на него нового бетона. Намоноличивание нового бетона производилось непосредственно на предварительно подготовленную поверхность старого бетона без использования композиции. Контактный шов находился между новым и старым бетоном.

Серия Г-2: Г-образные составные конструкции, состоящие из старого бетона, трехкомпонентной композиции, намоноличеного нового бетона. Состав трёхкомпонентной композиции: 1 часть цемента, 3 части песка,  $\frac{3}{4}$  части воды. Перед укладкой нового бетона на предварительно подготовленную поверхность старого бетона наносилась трёхкомпонентная композиция слоем толщиной 10 мм. Затем, не позднее чем через 30-60 минут укладывался бетон намоноличивания.

Серия Г-3: Г-образные составные конструкции, состоящие из старого бетона, двухкомпонентной композиции, намоноличеного нового бетона. Состав двухкомпонентной композиции: 1 часть цемента,  $\frac{1}{2}$  часть воды. Перед укладкой нового бетона на предварительно подготовленную поверхность старого бетона наносилась двухкомпонентная композиция толщиной до 5 мм в 2 слоя, с перерывом в 20 минут. Затем, не позднее чем через 30-60 минут после нанесения композиции, укладывался бетон намоноличивания.

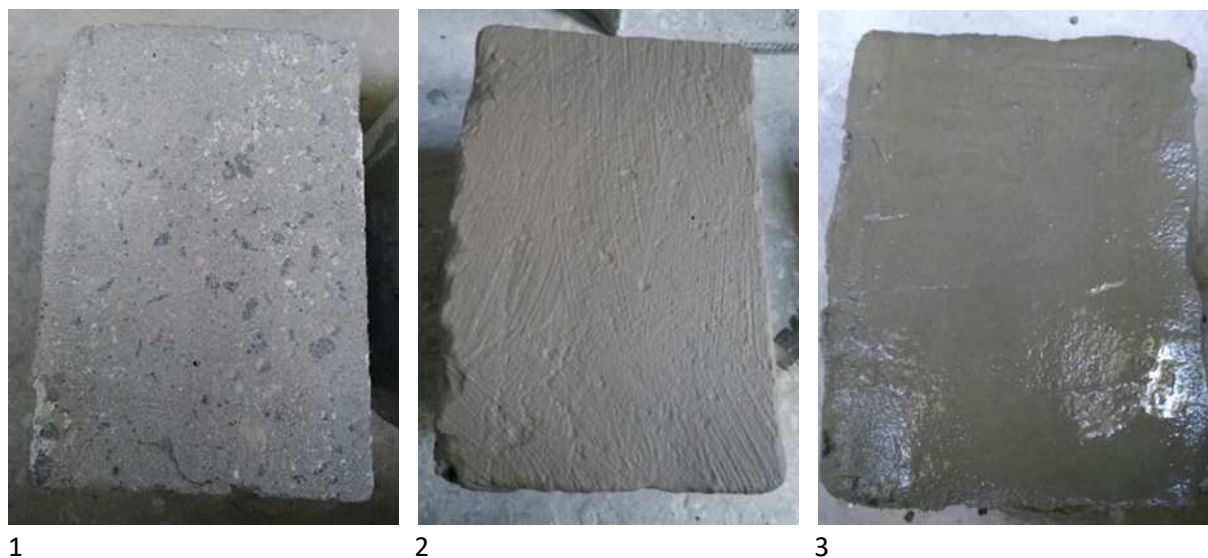
Образцы Г-2 и Г-3 имели два контактных шва: 1 – между старым бетоном и композицией, 2 – между новым бетоном и композицией. Таким образом, составная конструкция состояла из трех частей.

Общий вид поверхностей контактных швов образцов перед нанесением бетона намоноличивания показан на рисунке 1.

Подготовка поверхностей старого бетона производилась созданием шероховатости путем механической очистки, состоящей в удалении карбонатной пленки, создании равномерной шероховатой поверхности, выступов-впадин не менее 3 мм, расположенных на расстоянии друг от друга не менее чем 40мм.

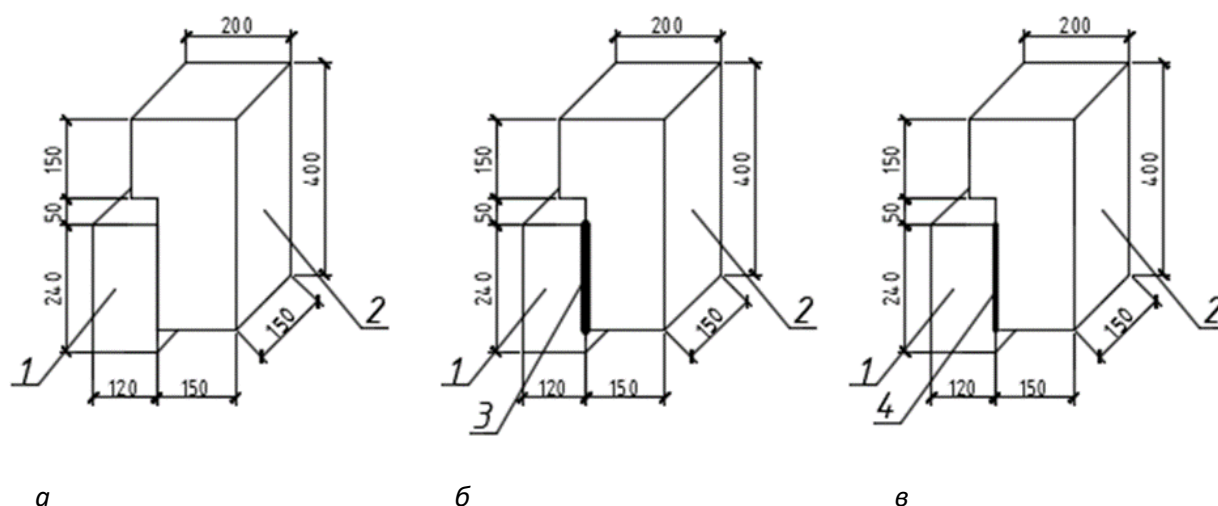
Перед нанесением бетона намоноличивания в образцах Г-1 и нанесением композиций в образцах Г-2 и Г-3 поверхность старого бетона увлажнялась. Опалубку устанавливали так, чтобы при бетонировании контактная поверхность находилась в горизонтальном положении.

Общий вид составных конструкций показан на рисунке 2.



1 – для серии Г-1; 2 – для серии Г-2; 3 – для серии Г-3

Рисунок 1. – Поверхности контактных швов образцов перед нанесением бетона намоноличивания



а – без использования композиции; б – с трехкомпонентной композицией; в – с двухкомпонентной композицией;

1 – сборный (старый) бетон; 2 – бетон намоноличивания; 3 – композиция толщиной 10 мм (трехкомпонентная); 4 – композиция толщиной 5 мм (двухкомпонентная)

Рисунок 2. – Схемы составных конструкций

Испытания составных конструкций проводились после набора прочности бетона намоноличивания в естественных условиях. Конструкции испытывались на сдвиг при помощи гидравлического пресса П-125 по общепринятому ступенчатому кратковременному режиму нагружения. Схема испытания, принятая в эксперименте, представлена на рисунке 3.

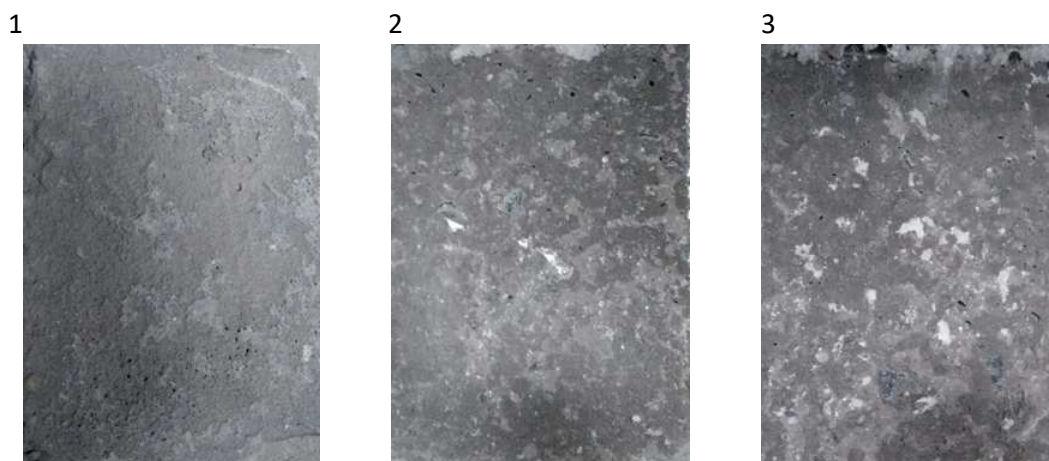


1 – сборный (старый) бетон; 2 – бетон намоноличивания; 3 – композиция

Рисунок 3. – Схема испытания составной бетонной конструкции с композицией

Разрушение всех образцов произошло по контактному шву и было хрупким, и заключалось в отделении одной части составной конструкции от другой.

Разрушение конструкций с композициями (Г-2, Г-3) происходило по контактному шву между старым бетоном и композицией (первый шов), а бетон намоноличивания и композиция (второй шов) работали монолитно. При том в зоне первого контактного шва на отделившейся части образца, состоящего из нового бетона и композиции имелись прилипшие фрагменты старого бетона. В серии Г-3 было отмечено наибольшее количество прилипших частиц старого бетона, и получено наибольшее значение экспериментального сопротивления контактного шва сдвигу, рисунок 4, 5.



1 – серия Г-1, 2 – серия Г-2, 3 – серия Г-3

Рисунок 4. – Общий вид поверхностей составной конструкции после разрушения по контактному шву



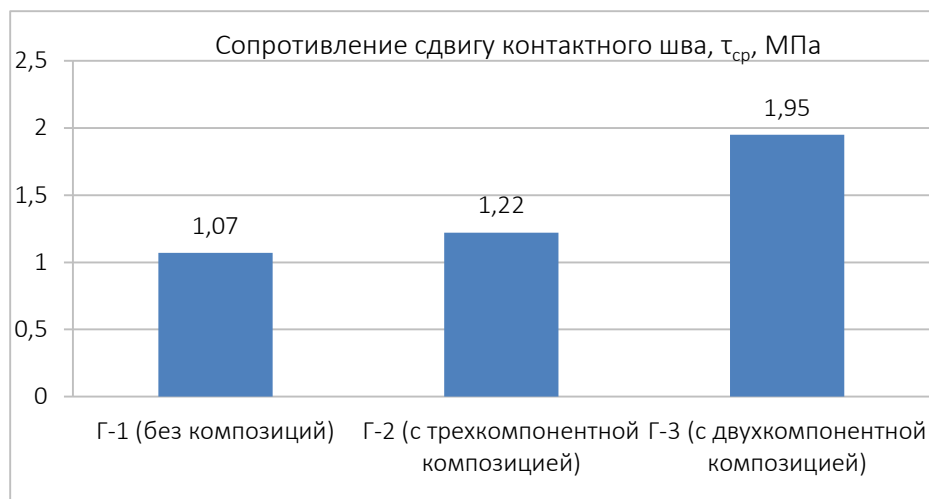


Рисунок 5. – Изменение прочности контактного шва с различными составами

Как видно из гистограммы на рисунке 5:

1. Использование композиций на основе цементных систем (Г-2 и Г-3) повышает сопротивление сдвигу контактного шва.

2. Сопrotивление сдвигу контактного шва при использовании трёхкомпонентной композиции (Г-2) увеличилось, в среднем, на 15% по сравнению с образцами без композиции (Г-1).

3. Сопrotивление сдвигу контактного шва при использовании двухкомпонентной композиции (Г-3) увеличилось, в среднем, на 80%, по сравнению с образцами без композиции (Г-1), и более чем на 50% по сравнению образцами с трёхкомпонентной композицией (Г-2).

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что применение двухкомпонентной композиции данного состава является наиболее целесообразным и может значительно, более чем на 50%, увеличить сопротивление сдвигу контактного шва составной конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздев, А.А. Изучение сцепления нового бетона со старым в стыках сборных железобетонных конструкций и рабочих швах / А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев. – М.: ОНТИ ЦНИЛС, 1936. – 36 с.
2. Юкневичюте, Я.А. О прочности старого и нового бетона с суперпластификатором С- 3 / Я.А. Юкневичюте, В.М. Багочюнас // Бетон и железобетон. – 1986. – № 2. – С. 33–35.
3. Кремнева, Е.Г. Контактные швы в железобетонных составных конструкциях / Е.Г. Кремнева, Е.В. Хаменок // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Прикладные науки. – 2011. – № 8. – С. 48–52.
4. Кремнева, Е.Г. Об использовании модифицированных бетонов при усилении железобетонных конструкций / Е.Г. Кремнева, О.П. Чикалина // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2004. – № 6. – С. 42–46.
5. Pedro M. D. Santos. Factors affecting bond between new and old concrete / Pedro M. D. Santos, Eduardo N. B. S. Júlio. // ACI Materials Journal. – 2011. – 108 (4) – 449.

УДК 624.012.3

### ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ КОНТАКТНОГО ШВА СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Е.Г. Кремнева**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: e.kremneva@psu.by

*В статье рассмотрены экспериментальные исследования прочности контактного шва составных конструкций, модифицированных Стахемент–2010, в новом бетоне и в прослойке. Отмечена целесообразность применения модифицирования в составе 0.8% от массы цемента в составных конструкциях.*

**Ключевые слова:** составная конструкция, прочность, модификатор Стахемент-2010, старый бетон, бетон намоноличивания, прослойки, контактный шов.

### EFFECT OF MODIFIERS ON STRENGTH OF CONTACT SEAM OF COMPOSITE CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

**A. Kremneva**

Polotsk State University, Republic of Belarus

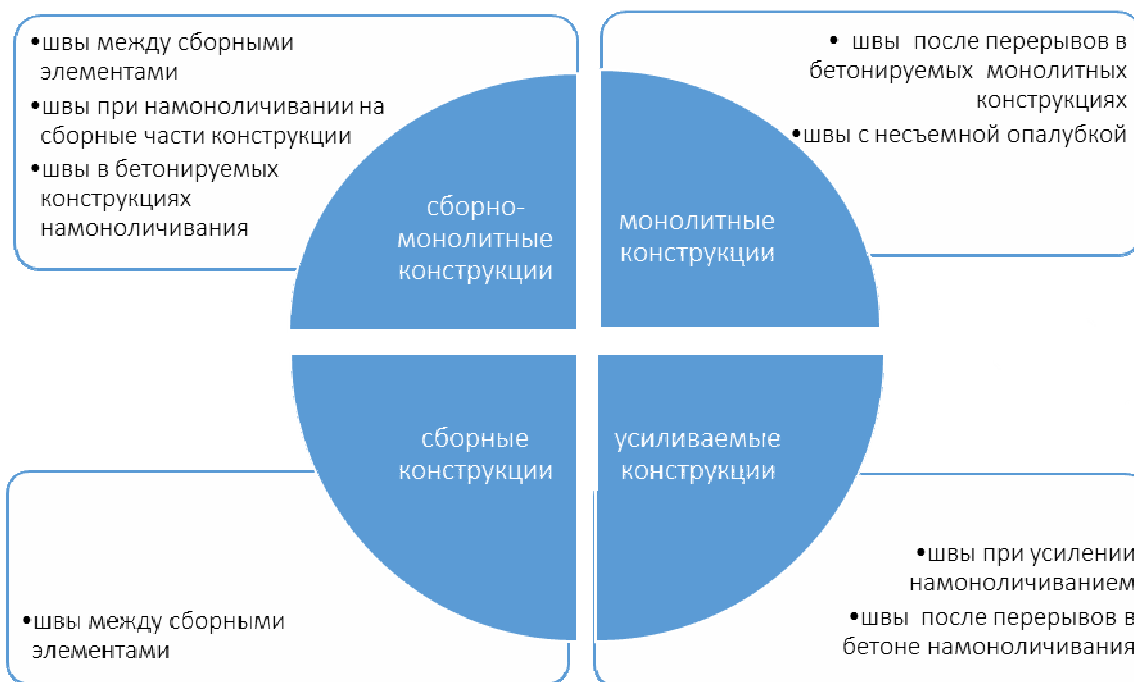
e-mail: e.kremneva@psu.by

*The article considers experimental studies of shear resistance of the contact seam of composite structures modified by Stachement-2010 in new concrete and in interlayer. The expediency of using modification in the composition of 0.8% of cement weight in composite structures was noted.*

**Keywords:** composite concrete structure, shear resistance, Stachement modifie-2010, old concrete, new concrete, layers, contact seam.

Составные конструкции находят все большее применение в строительстве и при реконструкции зданий и сооружений. Их преимущество связано с возможностью соединения в одной конструкции нескольких слоев с разными, заранее заданными свойствами. Используя положительные свойства каждого слоя в отдельности и обеспечивая их надежную совместную работу, можно получить универсальную и экономичную конструкцию. Состояние поверхности слоев, технология и качество их подготовки, способы бетонирования, составы бетонов, и многое другое оказывают существенное влияние на совместную работу составной конструкции [1-4].

Вопрос о контактных швах и совместной работе составной конструкции возникает во всех областях строительства из бетона и железобетона. В сборно-монолитном и монолитном строительстве (например, при перерывах в бетонировании, в том числе и длительных), в сборном строительстве и при реконструкции и техническом перевооружении зданий и сооружений, когда производится усиление конструкций намоноличиванием, рисунок 1.



**Рисунок 1. – Контактные швы в бетонных и железобетонных конструкциях**

Надежное сцепление слоев составной конструкции можно обеспечить с помощью конструктивных и технологических мероприятий, а также с применением новых материалов.

Конструктивные мероприятия заключаются в увеличении фактической площади контактного шва, что достигается устройством отверстий и пазов, шпонок в конструкции, которые могут быть различной формы, а также с помощью анкерующих выступов и змеек из стали. Чаще всего обеспечение прочности контактного шва осуществляется за счет создания дополнительной шероховатости, волнистости, насечек. В производственных условиях на рабочей площадке не всегда технологически возможно устроить пазы, шпонки в конструкциях, а также весьма трудоемко устройство стальных змеек.

Технологические мероприятия и материаловедческие аспекты, обеспечивающие сцепление слоев, в основном зависят от вида цемента, подвижности и формуемости бетонной смеси, использования клеящих составов, прослоек между слоями или добавок в бетон намоноличивания (новый бетон). В тоже время важными факторами являются: влажность бетона сборной части (старый бетон), бетона усиления или части монолитной конструкции, способ уплотнения бетонной смеси намоноличивания, состояния конструкции до производства работ (возраст, дефекты и повреждения конструкции и др.).

Одним из способов обеспечения надёжного соединения составных бетонных и железобетонных конструкций в зоне контактного шва является использование химических добавок в бетон. Особой популярностью последние десятилетия во всём мире пользуются пластификаторы, а также супер- и гиперпластификаторы. Использование добавок в бетон может существенно менять свойства бетонной смеси, бетона. Добавки могут увеличивать подвижность бетонной смеси, позволить уменьшить расход воды

затворения без снижения удобоукладываемости смеси, повысить плотность, водонепроницаемость и прочность структуры, уменьшить расход цемента [1–4] и многие другие. Однако, на сегодняшний день, недостаточно изучен вопрос о влиянии используемых добавок в бетон на прочность контактного шва составной бетонной и железобетонной конструкции, в том числе и при устройстве промежуточного слоя в виде прослоек, в том числе модифицированных.

На базе Полоцкого государственного университета на протяжении более 10 лет проводится ряд исследований влияния модификаторов на прочность контактного шва. Исследования проводились с бетонами модифицированными добавками СПС, Суперпласт РТ, Стахемент F, Стахемент-2000М, Стахемент-2010 и др. [3,4]. Анализ этих работ подтверждает тот факт, что введение в бетонную смесь модификаторов, в определённом количестве, благоприятно сказывается на прочности контактного шва по сравнению с бездобавочными бетонами, и концентрация модификатора в новом бетоне, также, как и в прослойке составной конструкции может существенно оказывать влияние на прочность контактного шва.

В рамках данных исследований проведена серия испытаний прочности контактного шва в бетонных и железобетонных конструкциях, модифицированных Стахемент-2010. Испытания проводились на Г-образных составных элементах. Было выполнено две серии образцов.

Серия 1 выполнена с целью определения прочности контактного шва при различном проценте модифицирующей добавки Стахемент-2010, добавляемой в бетон намоноличивания.

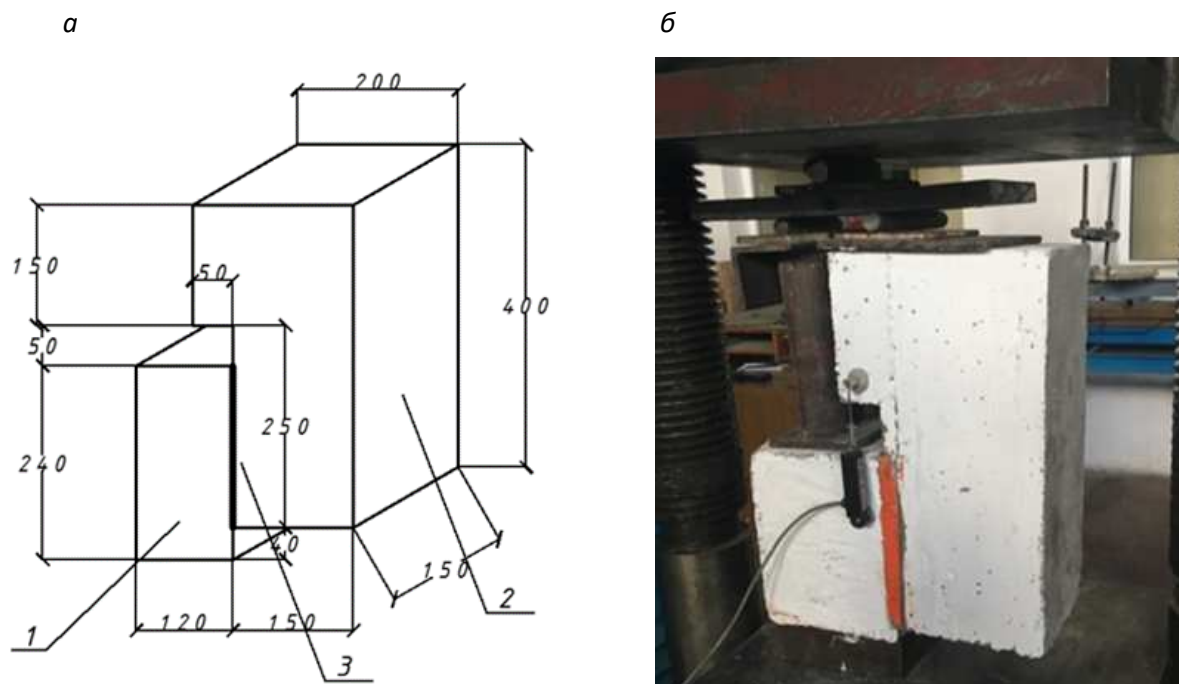
Серия 2. Во второй серии образцов пластификатор Стахемент-2010 добавлялся в цементно-песчаную прослойку между старым и новым бетоном. При этом для разработки состава модифицированной прослойки было принято то количество модификатора, при котором получена наибольшая прочность контактного шва из первой серии. Новый бетон в серии 2 не модифицировался, таблица 1.

Таблица 1. – Серии образцов для испытаний

Серия	Количество модификатора Стахемент-2010 в % от массы цемента в новом бетоне	Количество модификатора Стахемент-2010 в % от массы цемента в цементно-песчаной прослойке
Серия 1		
Г-0-0	0	нет прослойки
Г-1-0,5	0,5	нет прослойки
Г-1-0,8	0,8	нет прослойки
Г-1-1,1	1,1	нет прослойки
Серия 2		
Г-1	0	0
Г-2	0	0,8

Образцы всех серий состояли из двух частей: бетона намоноличивания (нового бетона) и сборного (старого) бетона. Поверхность сборного бетона перед нанесением бетона намоноличивания (серия 1) и прослойки на сборный бетон (серия 2) очищалась и увлажнялась. К моменту укладки нового бетона поверхности всех серий были влажными. Бетон укладывали на влажную поверхность с послойным уплотнением штыкованием.

Общий вид составной конструкции и схема испытаний приведена на рисунке 2.

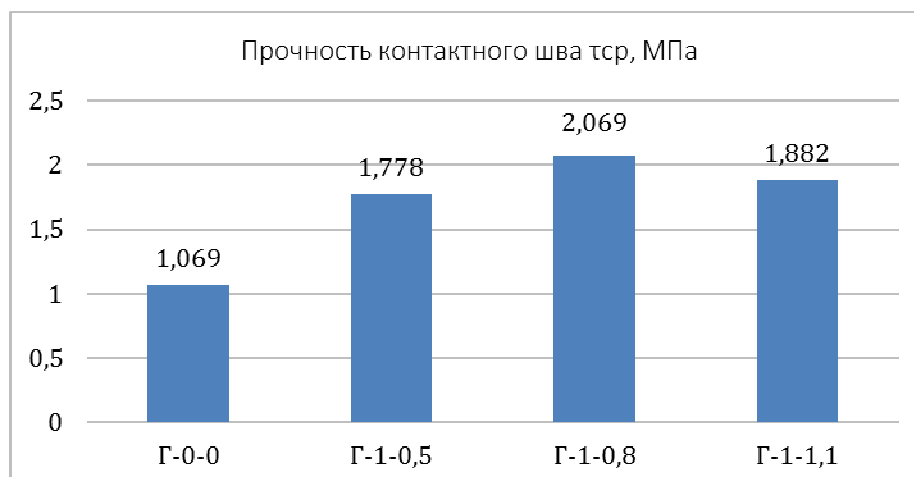


**а – общий вид составной конструкции; б – схема испытания;**  
**1 – сборный (старый) бетон; 2 – бетон намоноличивания (новый бетон);**  
**3 – контактный шов**

**Рисунок 2. – Испытания контактного шва на Г-образных составных элементах:**

Конструкции всех серий испытывались на сдвиг при помощи гидравлического пресса П-125 по общепринятому ступенчатому кратковременному режиму нагружения. Испытания образцов производились с использованием аттестованного оборудования и поверенных средств измерения.

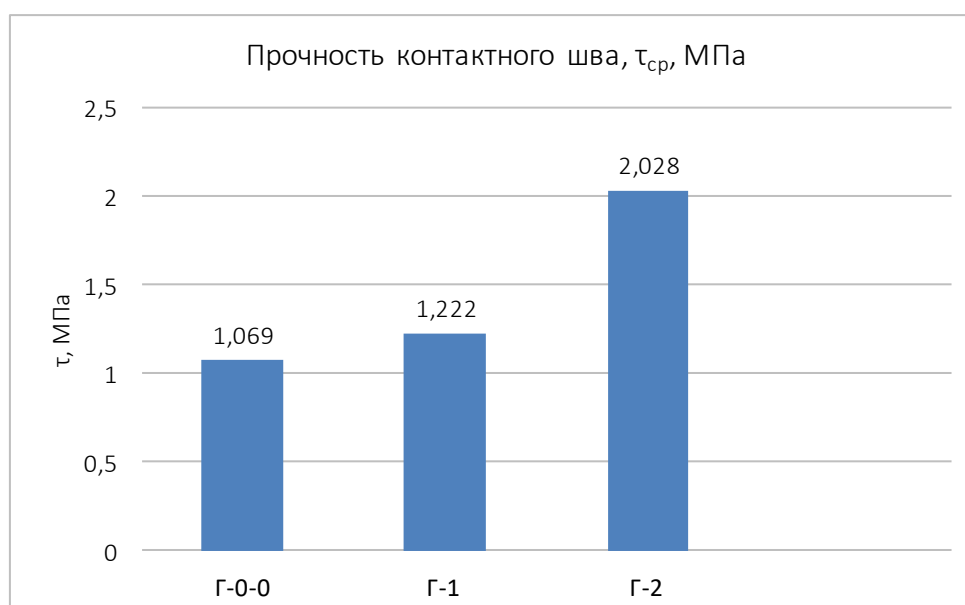
Разрушение во всех случаях носило хрупкий характер. Все образцы разрушились по контактному шву. По общим видам поверхности образцов серии 1 после разрушения видно, что поверхность в каждом случае была шероховатой. Однако шероховатая поверхность образца с добавлением гиперпластификатора в количестве 0,8% (Г-1-0,8) имела наибольшую площадь частиц, прочно связанных со старым бетоном на поверхности нового. Результаты определения прочности контактного шва серии 1 представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3. – Прочность контактного шва с различным количеством модификатора в новом бетоне серии 1**

Согласно гистограммы наибольшее значение прочности контактного шва получено в образце Г-1-0,8, где было зафиксировано большее по количеству прилипших частиц. Данное количество модификатора было принято за основу в модифицированных цементных прослойках серии 2.

При испытании составных конструкций серии 2 с прослойками, разрушение всех образцов носило резкий, внезапный характер и заключалось в отделении одной части образца от другой по контактному шву. Разрушение происходило по контактному шву между старым бетоном и прослойкой, а контактный шов между бетоном намоноличивания и прослойкой работал монолитно и разрушения по нему не зафиксировано. Результаты определения прочности контактного шва представлены на рисунке 4.



**Рисунок 4. – Прочность контактного шва составной конструкции с прослойками на основе цементных систем**

Согласно гистограммы наибольшее значение прочности контактного шва было получено в образце Г-2 (с модифицированной цементной прослойкой).

Таким образом, на основании гистограмм можно сделать следующие выводы:

1. Применение бетонов, модифицированных Стахемент-2010 в количестве 0,5%, 0,8%, 1.1% от массы цемента (Г-1-0,5, Г-1-0,8 и Г1-1,1) повышает прочность контактного шва составных конструкций по сравнению с бездобавочными составами бетона намоноличивания (Г-0-0).

2. Использование в бетоне намоноличивания модификатора Стахемент-2010 в количестве 0,8% от массы цемента (Г-1-0,8) повышает прочность контактного шва почти на 75%, по сравнению с образцами без модификатора (Г-0-0).

3. Использование прослоек на основе цементных систем (Г-2 и Г-3) повышает сопротивление сдвигу контактного шва по сравнению с составными конструкциями без прослоек (Г-0-0).

4. Использование прослоек, модифицированных Стахемент-2010 в количестве 0,8% от массы цемента (Г-2) в составных конструкциях увеличивает прочность контактного шва, по сравнению с образцами серии Г-0-0 (без прослойки) почти на 90 % и на 66%, по сравнению с образцами серии Г-1 (цементно-песчаная прослойка).

На основании вышесказанного можно заключить, что применение модифицированного бетона и модифицированной прослойки с использованием Стахемент-2010 (0,8%) может значительно улучшить сцепление элементов. Однако следует отметить, что при данной модификации (0,8%) значения прочности контактных швов получились практически одинаковыми в образцах Г-1-0,8 (серия1) и Г2 (серия2). В связи с этим возможно отказаться от модифицирования нового бетона, а использовать только модифицированную прослойку в составных конструкциях между слоями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздев, А.А. Изучение сцепления нового бетона со старым в стыках сборных железобетонных конструкций и рабочих швах / А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев. – М.: ОНТИ ЦНИЛС, 1936. – 36 с.
2. Юкневичюте, Я.А. О прочности старого и нового бетона с суперпластификатором С- 3 / Я.А. Юкневичюте, В.М. Багочюнас // Бетон и железобетон. – 1986. – № 2. – С. 33–35.
3. Кремнева, Е.Г. Контактные швы в железобетонных составных конструкциях / Е. Г. Кремнева, Е. В. Хаменок // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Прикладные науки. – 2011. – № 8. – С. 48–52.
4. Кремнева, Е.Г. Об использовании модифицированных бетонов при усилении железобетонных конструкций / Е.Г. Кремнева, О.П. Чикалина // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2004. – № 6. – С. 42–46.

УДК 624.012.4-183.4; 624.94.014.2

## НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЛИТ ИЗ ПЕНОБЕТОНА И ТОНКОСТЕННОГО ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО СТАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

**А.П. Кремнев, Е.Г. Кремнева**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь  
e-mail: kremnev\_si@mail.ru, e.kremneva@psu.by

*Приведены результаты испытаний композитных плит перекрытия, состоящих из тонкостенного С-образного стального профиля (ЛСТК) и пенобетона. Определена несущая способность плитных конструкций. Приведена картина трещинообразования, графики деформаций сжатой зоны. Построены эпюры деформаций сжатой и растянутой зон тонкостенного стального холоднодеформированного профиля. Подтверждено предположение о существенном влиянии на несущую способность и устойчивость изгибаемого тонкостенного стального профиля пенобетонной матрицы заполнения.*

**Ключевые слова:** плиты, пенобетон, тонкостенный стального холоднодеформированный профиль, несущая способность, трещинообразование, эпюры деформаций, совместная работа.

## LOAD-BEARING CAPACITY OF SLAB STRUCTURES MADE OF FOAM CONCRETE AND OF THE THIN-WALLED STEEL COLD-FORMED SECTION

**A. Kremniou, A. Kremneva**

Polotsk State University, Republic of Belarus  
e-mail: kremnev\_si@mail.ru, e.kremneva@psu.by

*The structure of foam concrete and of the thin-walled steel cold-formed section prototypes is considered. Load-bearing capacity of slab structures is determined. The picture of crack formation, the graphics of the compressed zone deformations are shown. The diagrams of deformations of the compression and tensile zones of the thin-walled steel cold-formed section are made. The fact of joint operation of foam concrete and steel profile in the slab structure is recorded.*

**Keywords:** slabs, foam concrete, thin-walled steel cold-deformed profile, bearing capacity, cracking formation, deformations, joint work.

На сегодняшний день для строительной отрасли важным фактором является сокращение сроков строительства, применение инновационных технологий и материалов, современных методов расчета конструкций. Благодаря быстровозводимым конструкциям строить можно гораздо быстрее и дешевле. Такие здания строятся с минимальными трудозатратами и в короткие сроки [1, 2, 3].



Среди наиболее быстровозводимых и легких конструкций следует выделить легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), отличающиеся небольшим весом, легкостью сборки и монтажа, и, в тоже время, высокой несущей способностью [2,4,5,6,7]. Применение таких конструкций позволяет существенно снизить нагрузки на фундамент, проводить работы в сложных стесненных условиях без привлечения тяжелой грузоподъемной техники. Поэтому преимущества таких конструкций в наибольшей степени проявляются при реконструкции зданий, когда необходима надстройка дополнительных этажей.

В качестве утеплителя для систем ЛСТК используются минераловатные, базальтовые маты или плиты, стекловата, эковата и другие изоляционные материалы [7]. Широкое распространение в качестве утеплителя при возведении ЛСТК, получил пенобетон, который представляет собой легкий пористый искусственный каменный материал на цементном вяжущем [8, 9]. В зданиях из ЛСТК, пенобетон, в основном, используется в ограждающих конструкциях стен, перегородок. В конструкциях покрытия и перекрытия ЛСТК и пенобетон на данный момент массового применения не имеют. Это связано с тем, что на сегодняшний день существующие методики расчета не позволяют с достаточной степенью достоверности определить их несущую способность, а также оценить совместную работу тонкого профиля и пенобетона [10]. Однако с учетом того, что изгибаемые конструкции, в виде плит, являются наиболее массовыми конструкциями зданий, задача является весьма актуальной. Данные исследования проводятся в России, Украине, Польше и др. странах [2,6,7]. В Белоруссии также проводятся научные исследования с применением легких бетонов и тонкостенных стальных конструкций.

Так, на базе Полоцкого государственного университета были проведены экспериментально-теоретические исследования несущей способности монолитных плитных конструкций из пенобетона и тонкостенного холоднодеформированного стального профиля. Цель исследования заключалась в оценке степени влияния пенобетонного заполнения на несущую способность металлических профилей при действии изгибающего момента, учете их совместной работы.

Для проведения эксперимента были выполнены две плитные конструкции с одинаковым С – образным холоднодеформированным оцинкованным профилем, установленным в центре плиты. Образцы отличались плотностью пенобетона, таблица 1.

Таблица 1. – Плитные конструкции для испытаний

Конструкция	Плотность пенобетона и его размещение в конструкции	Стальной профиль
Плита П-I 300x600x3000мм	D500 (300мм- по всей высоте)	C300
Плита П-II 300x600x3000мм	D200 в средней части конструкции (180мм); D500 в сжатой и растянутой зонах (60мм)	C300

Для создания эффекта сплошной монолитной плиты опытные образцы обжимались при помощи пружинных зажимов, которые плотно устанавливались на боковых гранях плит. Испытание плит проводилось по балочной схеме с приложением сосредоточенных усилий в четырех точках. В процессе испытания измерялись деформации стальных тонкостенных профилей, прогибы конструкции, ширина раскрытия трещин

и их развитие по высоте сечения плиты. Общий вид стенда для испытания плит с конструкцией опытного образца показаны на рисунке 1.



**Рисунок 1. – Общий вид стенда для испытания плит с конструкцией опытного образца**

При проведении испытаний, характер трещинообразования в плитах отличался. В процессе нагружения плиты П-I (D500) образовывались как нормальные, так и наклонные трещины. В процессе нагружения плиты П-II (D200 и D500) образовывались, в основном, наклонные трещины. Общий вид плит после разрушения приведен на рисунке 2.

*а*



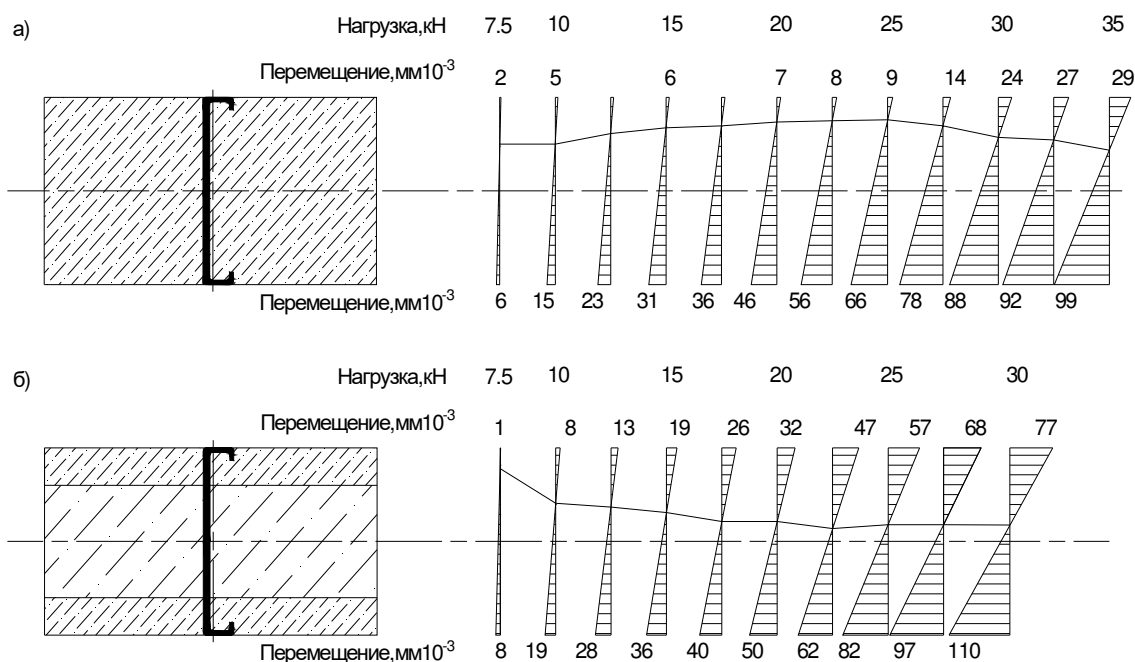
*б*



**а – плита П-I; б – плита П- II**

**Рисунок 2. – Общий вид образцов плит после испытания**

Для определения возможности совместной работы пенобетона и тонкостенного стального холоднодеформированного профиля были построены эпюры деформаций крайнего сжатого и растянутого волокна стального элемента, рисунок 3.



а – плита П-I; б – плита П-II

Рисунок 3. – Эпюры деформаций

Как видно из рисунка 3 при увеличении нагрузки положение нейтральной оси в образце П-I (D500) заметно отличалось от П-II (D200 и D500). Так, для плиты П-I до нагрузки 10 кН деформации растяжения нижних волокон тонкостенного стального профиля превышали деформации сжатия верхних волокон практически в три раза. При нагружении от 10 до 25 кН положение нейтральной оси постепенно перемещалось в сжатую зону, а превышение деформаций растяжения над деформациями сжатия составило более 7 раз. Такое распределение деформаций по высоте сечения П-I свидетельствует о совместной работе на сжатие пенобетонного заполнения и верхней зоны ЛСТК. Очевидно, что, снизив сжимающие напряжения в верхней зоне стальной балки мы, тем самым, отдаляем момент потери устойчивости тонкостенного стального профиля из плоскости действия изгибающего момента.

Схема распределения деформаций для плиты П-II (D200 и D500) была другой. При увеличении нагрузки положение нейтральной оси смещалось к середине сечения плиты, соответствующей геометрической оси тонкостенного стального профиля. И уже с нагрузки 20 кН ее положение практически не изменялось, что соответствует работе на изгиб обычных стальных балок. Такое распределение деформаций по высоте сечения П-II свидетельствует о работе только тонкостенного стального профиля. В данном случае, пенобетонное заполнение не оказало существенного влияния на характер работы композитной конструкции.

Для более детального анализа работы плит были построены графики изменения деформаций сжатой зоны тонкостенного стального профиля с увеличением нагружения, рисунок 4.

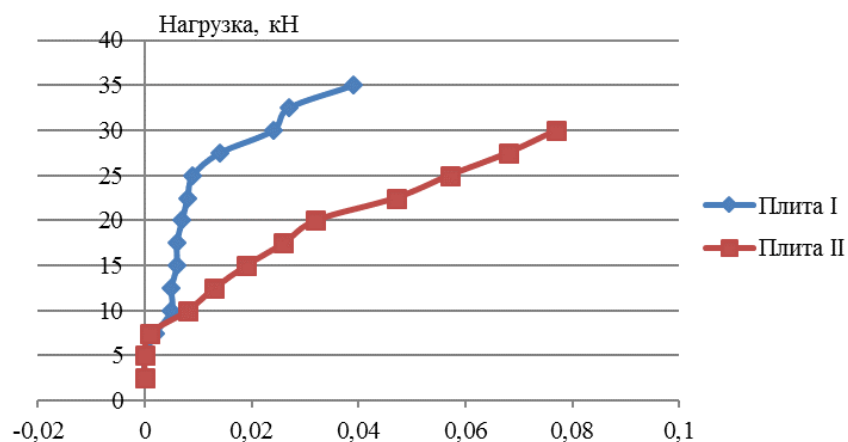


Рисунок 4. – Деформации сжатой зоны тонкостенного стального профиля

На графиках видны характерные участки развития деформаций: 1- практически вертикальные участки на самом начальном этапе загрузки для всех плит; 2- практически вертикальный участок до нагрузки 25кН только для плиты П-I; 3- пологие линейные участки. При сопоставлении деформаций сжатой зоны тонкостенного стального профиля с характером трещинообразования плит можно сделать вывод о том, что участок 1 соответствует работе плит без трещин, участок 2- работе плиты с развитием нормальных трещин в пролете. Участок 3 характеризуется нелинейным, скачкообразным развитием сжимающих деформаций верхних волокон профиля. При этом в бетоне плиты зафиксировано интенсивное развитие наклонных трещин. На графике для плиты П-II участок 2 практически отсутствует.

а



б



Рисунок 5. – Характер разрушения образцов в опорной зоне

Все плиты испытывались до полного разрушения. Для плиты П-I разрушающая нагрузка составила 62,5кН, а для плиты П-II 30кН. Разрушение образцов всех плит происходило вследствие потери устойчивости стенок и полок тонкостенного стального

профиля на опорах и сопровождалось образованием значительных наклонных трещин с раздроблением бетона в опорной зоне, см. рисунок 5.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что совместная работа тонкостенного стального холоднодеформированного оцинкованного профиля и заполнителя из пенобетона зафиксирована только для плиты П-I (D500).

В плите П-II (D200 и D500) с заполнением пенобетоном различной плотности, характер развития деформации сжатой и растянутой зоны в целом соответствовал работе стальной балке без заполнения легким бетоном. В тоже время, следует отметить, что пенобетонный заполнитель сыграл существенную роль в обеспечении общей устойчивости тонкостенного профиля, работающего на изгиб. В процессе испытаний плиты П-II вертикальность стенки стального профиля в пролете сохранялась до самого момента разрушения. Потери местной устойчивости полок профиля в местах приложения сосредоточенных сил зафиксировано не было.

**Выводы:**

1. Применение пенобетона в качестве заполнителя конструкций перекрытия, выполненных с применением тонкостенных стальных холоднодеформированных оцинкованных профилей, позволяет существенно повысить их несущую способность.

2. При плотности пенобетона D500 совместная работа пенобетона и тонкостенного стального профиля обеспечивалась практически до момента разрушения плиты П-I (D500).

3. Разрушение плит происходило за счет потери местной устойчивости профиля в опорных зонах. Разрушающая нагрузка для плиты П-I (D500) составила 62.5кН, для плиты П-II– 30кН. Разница в значениях разрушающей нагрузки связана тем, что в плите П-II с пенобетоном меньшей плотности (D200 в середине сечения и D500 по краям) пенобетон и стальной профиль не работали совместно.

4. Потеря общей устойчивости тонких стальных профилей и местная потеря устойчивости полок в местах приложения сосредоточенных нагрузок в пролете в плитах не были зафиксированы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстровозводимые здания: основные преимущества и недостатки [Электронный ресурс] // Журнал «Все просто». – Режим доступа: <http://vseprostoy.ru/byistrovozvodimyie-zdaniya-osnovnyie-preimushhestva-i-nedostatki/>. – Дата доступа: 02.10.2017.
2. Пинскер, В.А. СТО 82866678-3.01.01-2013 / В.А. Пинскер, В.П. Вылегжанин, Н.О. Куликова. – Санкт-Петербург: ООО «АНДРОМЕТА». – 2013. – 8 с.
3. Вербицкий, И.О. Применение металлического профилированного листа в качестве несущего элемента монолитных перекрытий из пенобетона / И.О. Вербицкий// Ползуновский альманах. – 2016. – №1. – С55–58.
4. Быстровозводимые промышленные здания [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.dvutavr.com.ua/bmz/promyishlennyye-zdaniya>. – Дата доступа: 14.10.2017.
5. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК): описание, плюсы и минусы, технология строительства / А. Кирницкая // Режим доступа: <https://www.syl.ru/article/328996/legkie-stalnyie-tonkostennyye-konstruktsii-lstk-opisanie-plyusy-i-minusyi-tehnologiya-stroitelstva>. – Дата доступа: 28.11.2017.

6. Борзова, М.К. Конструкция каркасных зданий с применением монолитного пенобетона / М.К. Борзова, Н.И. Ватин, М.Р. Гарифуллин. – Санкт-Петербург: С.-Пб. политех. ун-т; сб. Строительство уникальных зданий и сооружений, 2015. – 77 с.
7. Калафат, К. Противопожарное проектирование легких стальных тонкостенных конструкций / К. Калафат, Л. Вахитова. – Киев: Украинский Центр Стального Строительства. – 19 с.
8. Лундышев, И.А. Почему пенобетон [Электронный ресурс] / И.А.Лундышев // Режим доступа: [http://www.sovbi.ru/ru/penobeton/why\\_penobeton.php](http://www.sovbi.ru/ru/penobeton/why_penobeton.php).– Дата доступа: 29.11.2017.
9. ЛСТК и монолитный пенобетон // Режим доступа: <http://www.profstaldom.ru/lstk-articles/lstk-i-monolitnyj-penobeton/>.– Дата доступа: 15.12.2017.
10. Рыбаков, В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций / В.А. Рыбаков. – Санкт-Петербург: С.-Пб. политех. ун-т, 2011 – 7 с.

УДК 624.131

**ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ  
АНИЗОТРОПНОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ  
РАСПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**А.П. Кремнёв, Н.Н. Вишняков, В.В. Ермаченко**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: n.vishniakov@psu.by

*В статье приведены результаты испытаний в лотке анизотропного грунтового основания, смоделированного мелким песком и бентонитовой глиной. Первый вариант моделирования основания осуществлялся с прослойками бентонитовой глины 2,5 см, во втором случае 0,5 см. Показана схема потери устойчивости основания, графики зависимости горизонтальных и вертикальных деформаций от нагрузки, а также аппроксимация поверхности скольжения, доказывающая возможность использования метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения для анизотропных грунтовых оснований при расчёте фундаментов распорных сооружений.*

**Ключевые слова:** анизотропия, грунт, устойчивость основания, круглоцилиндрическая поверхность скольжения, фундаменты распорных сооружений.

**STUDY OF THE SCHEME OF LOSS OF STABILITY  
OF ANISOTROPIC GROUND BASIS OF FUNDAMENTALS  
OF SPACING STRUCTURES**

**A. Kremnev, N. Vishnyakov, V. Ermachenko**

Polotsk state university, Republic of Belarus

Email: n.vishniakov@psu.by

*The article presents the results of tests in a tray of an anisotropic soil base modeled with fine sand and bentonite clay. The first version of modeling the base was carried out with layers of bentonite clay 2.5 cm, in the second case 0.5 cm. A diagram of the loss of stability of the base, graphs of the dependence of horizontal and vertical deformations on load, as well as approximation of the sliding surface, proving the possibility of using the method of circular cylindrical sliding surfaces, are shown for anisotropic soil foundations when calculating the foundations of spacers.*

**Keywords:** anisotropy, soil, stability of the base, circular cylindrical sliding surface, foundations of spacer structures.

Большинство используемых в настоящее время методов расчета несущей способности оснований сооружений предполагают, что основания фундаментов являются однородными и изотропными. Однако, на сегодняшний день достоверно известно, что большинство грунтов по своей природе неоднородны и, как правило, обладают анизотропией как прочностных, так и деформационных свойств.

Анизотропия механических свойств присуща практически всем грунтовым отложениям озерно-ледниковой формации. Кроме того, анизотропия может быть «наведенной» вследствие действия природных факторов (промерзание, затопление, подтопление и т.д.) [1], а также в результате армирования корневыми сваями и другими армирующими элементами. Актуальность вопроса о прогнозе несущей способности (прочности, устойчивости) анизотропного основания обуславливается также тем, что при определении прочностных свойств грунтов оснований анизотропия, как правило, не учитывается, что может привести к недостоверной оценке его несущей способности.

Наиболее универсальным методом определения устойчивости фундаментов является метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, сочетающим в себе относительно небольшую трудоёмкость расчётов и достаточную точность [2].

Основной задачей проводимых лотковых испытаний является исследование схемы потери устойчивости для анизотропных грунтов для определения возможности использования метода круглоцилиндрических поверхностей.

Методика проводимых испытаний, с описанием конструкции лотка.

Испытания проводились в лотке размером 1,5х1,0х0,35 м (рис. 1), сваренного из металлических уголков и труб, фронтальная сторона которого оснащена оргстеклом толщиной 12 мм, позволяющим наблюдать характер деформирования и образования поверхности скольжения в моделируемом грунтовом основании.

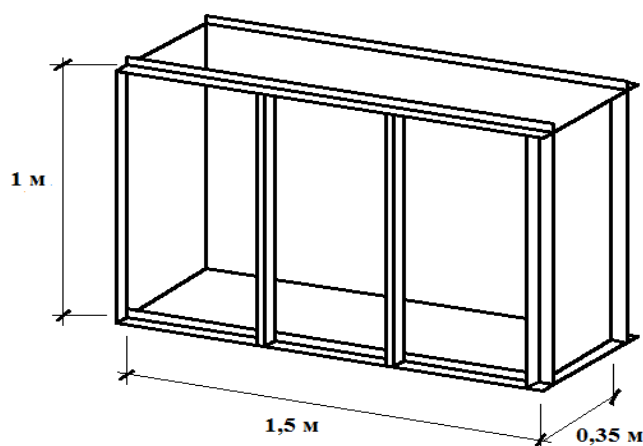


Рисунок 1. – Конструкция испытательного лотка

В качестве модели фундамента была взята металлическая пластина размером 30х30 см. Для приложения нагрузки под углом  $20^\circ$  использовался треугольный клин. На клин устанавливался гидравлический домкрат в сборе с маслостанцией. Маслостанция оборудована манометром, служащим для измерения давления. Фиксация величины горизонтальных и вертикальных перемещений осуществлялась при помощи прогибомеров БПАО. Схема испытательной установки показана на рисунке 2.

Нагрузка на штамп прикладывалась как равнодействующая из вертикальных и горизонтальных усилий. На первом этапе были проведены испытания для нагрузок, приложенных под следующими углами:  $30^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $15^\circ$ . Было установлено, что наиболее оптимальный угол приложения нагрузки составляет  $20^\circ$ . При данном угле наклона нагрузки и принятых размерах лотка схема потери устойчивости основания



в наибольшей степени соответствует классической схеме поверхностного выпора. Угол приложения нагрузки  $20^\circ$  был принят при испытании анизотропных грунтов на последующих этапах исследований.

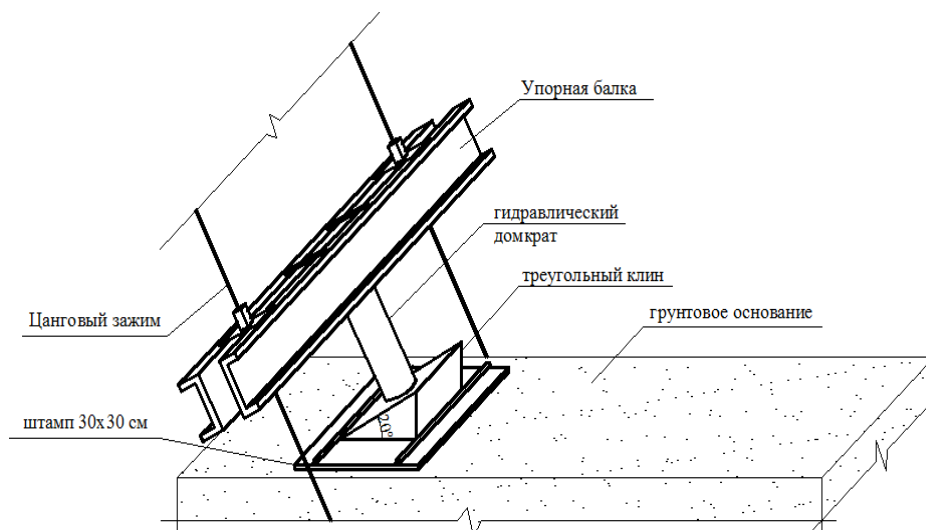


Рисунок 2. – Схема испытательной установки

Нагрузка на штамп передавалась ступенями с шагом 2,5 кН. Каждая ступень нагружения выдерживалось до наступления условной стабилизации. При этом фиксировались вертикальные и горизонтальные перемещения штампа.

Испытание продолжалось до полной потери устойчивости модели фундамента с образованием поверхности сдвига грунта и поверхностного выпора.

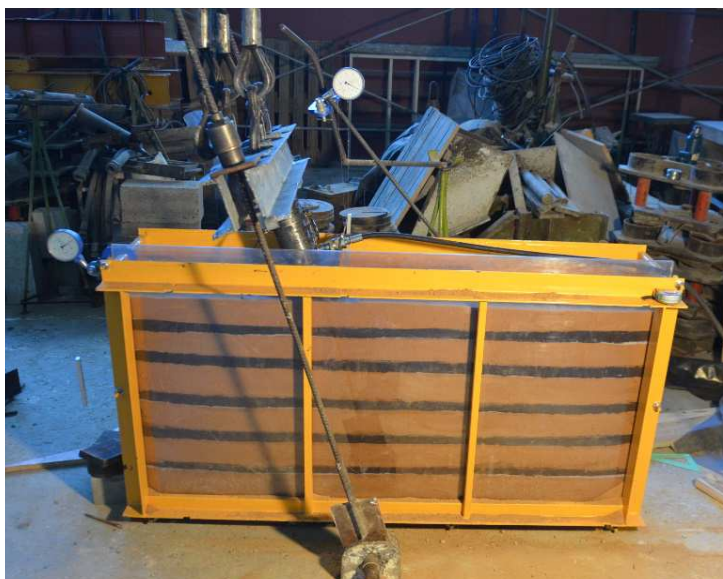
**Испытания с анизотропным песчано-глинистым основанием.** Модель анизотропного грунтового основания создавалась из двух материалов: средний песок и бентонитовая глина.

Используемая в работе бентонитовая глина представляет собой материал природного происхождения, основной составляющей которого является монтмориллонит, благодаря которому она приобретает свойства гидрофильности и разбухания. Данный материал имеет слоистую структуру и влага, попадая в неё, позволяет ему разбухать в несколько раз.

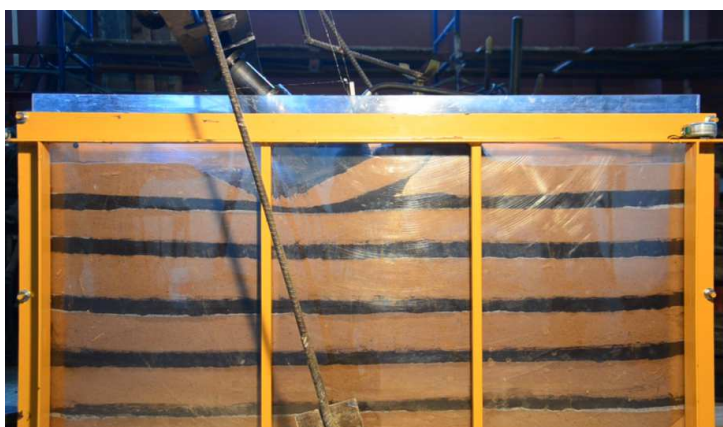
Первый вариант моделирования анизотропного песчано-глинистого основания с прослойками бентонитовой глины толщиной 2,5 см до деформирования показан на рисунке 3. Грунт уплотнялся вручную при помощи трамбовки.

Потеря устойчивости основания произошла при нагрузке на штамп – всего 2,5 кН, и сопровождалась сдвигом уплотнённого грунтового ядра под штампом по четко видимой поверхности скольжения близкой к круглоцилиндрической и поверхностным выпором грунта. При этом сдвиг произошёл по первой прослойке бентонитовой глины, как только нижняя граница уплотнённого ядра дошла до прослойки (рис. 4).

Повторив эксперимент с более тонкими прослойками глины (толщиной 0,5 см) наглядно видно, что характер потери устойчивости основания аналогичен сдвигу с более толстыми прослойками, однако сдвиг произошел на большей глубине (рис.5). Результаты эксперимента представлены в таблице 1.



**Рисунок 3. – Анизотропное песчано-глинистое основание до проведения испытания**



**Рисунок 4. – Потеря устойчивости анизотропного песчано-глинистого основания с прослойками 2,5 см**



**Рисунок 5. – Потеря устойчивости песчано-глинистого основания с прослойками 0,5 см**

Таблица 1 – Результаты испытаний песчано-глинистого основания

Нагрузка на штамп, кН	Горизонтальное перемещение, мм	Вертикальное перемещение, мм	Примечания
2,5	4,68	0,54	Уплотнение грунта под подошвой штампа
3,0	54,47	0,92	Значительные горизонтальные перемещения штампа
3,5	79,85	3,58	Потеря устойчивости грунтового основания

Исходя из полученных данных построены графики зависимости горизонтальных и вертикальных деформаций от нагрузки (рис. 6, 7).

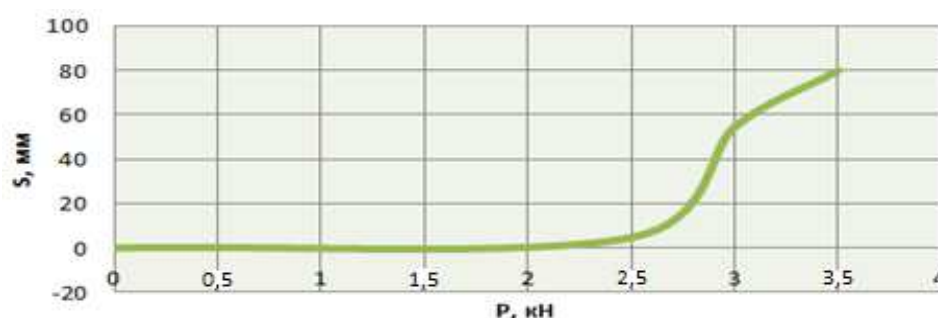


Рисунок 6. – График деформации анизотропного песчано-глинистого основания в горизонтальном направлении

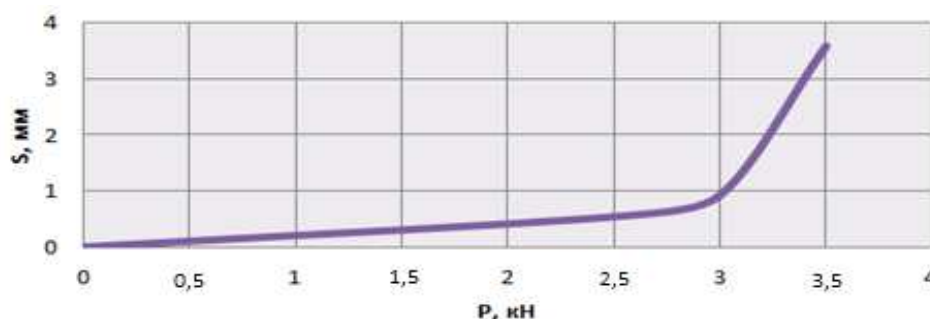
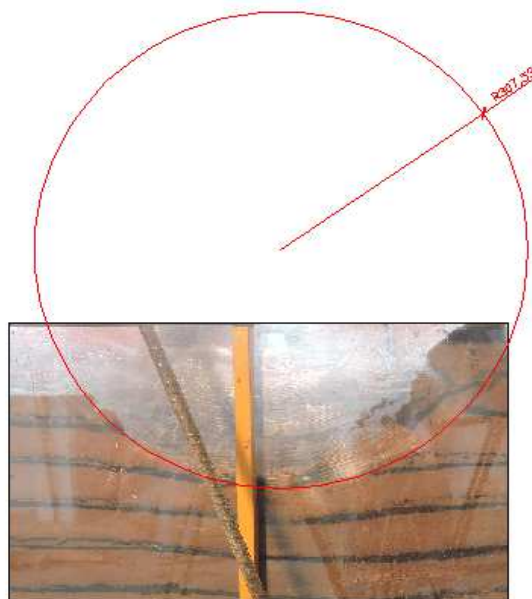


Рисунок 7. – График деформации анизотропного песчано-глинистого основания в вертикальном направлении

В ходе анализа очертания поверхностей скольжения установлено, что в целом сдвиг одной части грунта относительно другой произошел по поверхности, близкой к круглоцилиндрической (рис. 8).

Таким образом, лабораторные исследования моделей грунтового основания в лотковых условиях показали, что потеря устойчивости массива грунта с выраженной горизонтальной анизотропией при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок происходит по поверхности близкой к круглоцилиндрической.

При этом необходимо отметить, что поверхность скольжения в основании с выраженной анизотропией первоначально формируется по слабой прослойке.



**Рисунок 8. – Аппроксимация поверхности скольжения круглоцилиндрической поверхностью**

В первом случае поверхность скольжения сформировалась в верхнем слабом слое, во втором случае во втором. По отношению к слабым прослойкам круглоцилиндрическая поверхность скольжения и в первом и во втором случае проходила по касательной.

Полученные результаты исследований доказывают возможность использования метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения для анизотропных оснований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артемёнок, В.В., Краснов, Д.А, Кремнёв, А.П., Вишняков, Н.Н. Влияние анизотропии на прочностные характеристики грунта при испытании в приборе одноплоскостного среза // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкий государственный университет. Сер. Прикладные науки. Строительство. – Выпуск 19 (89). – С. 172 – 174. – Электронный оптический диск – 1 диск.
2. Малышев, М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений / М.В. Малышев. – М.: Стройиздат, 1994. – 228 с.
3. Кремнёв, А.П., Вишняков, Н.Н. Учёт влияния анизотропии прочностных свойств грунтов на несущую способность фундаментов распорных сооружений / А.П.Кремнёв, Н.Н.Вишняков // Инженерно-геотехнические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений: Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции/ М-во образования и науки Рос. Федерации, С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т, Рос. о-во по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению, Рос. акад. архитектуры и строит. наук. – СПб. : [б. и.], 2017. – С 130– 135.
4. Вишняков, Н. Н. Несущая способность фундаментов распорных сооружений с учетом анизотропии прочностных свойств грунтов / Н. Н. Вишняков, А. П. Кремнев // Геотехника Беларуси: наука и практика = Geotechnics in Belarus: science and practice : материалы Международной конференции, Минск, 23-26 октября 2018 г. / Белорусский национальный технический университет ; сост.: В. А. Сернов [и др.]. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 91-96.

УДК 624.012.45

**УСИЛЕНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ПРИКЛЕИВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СБОРНЫХ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**К.А. Костюрина, Е.Д. Лазовский**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: k.kostyurina@psu.by

*В данной работе рассмотрены варианты усиления растянутой зоны изгибаемых железобетонных элементов. Наиболее детально рассмотрены варианты усиления приклеиванием стальных пластин, усиление с применением углепластиковой арматуры и приклеивание дополнительных сборных железобетонных элементов в растянутой зоне изгибаемых железобетонных элементов. Представлены основные достоинства и недостатки данных методов.*

**Ключевые слова:** *изгибаемый железобетонный элемент, усиление, сборная предварительно напряженная железобетонная плита.*

**STRENGTHENING OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS  
BY ADHESIVING ADDITIONAL  
PREFABRICATED PRESTRESSED ELEMENTS**

**К. Kastsyuryna, Y. Lazouski**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: k.kostyurina@psu.by

*In this paper, we consider options for strengthening the stretched zone of flexible concrete elements. The options for reinforcing by gluing steel plates, reinforcing with the use of carbon fiber reinforcement and gluing additional precast reinforced concrete elements in the stretched zone of flexible reinforced concrete elements are considered in more detail. The main advantages and disadvantages of these methods are presented.*

**Keywords:** *bending reinforced concrete element, strengthening, prefabricated prestressed reinforced concrete plate.*

**Введение.** В настоящее время все больше зданий и сооружений нуждаются в капитальном ремонте, модернизации или реконструкции. И основной проблемой, возникающей при проведении работ при реконструкции или капитальном ремонте, является необходимость усиления существующих конструкций, в связи с их преждевременным разрушением. Производство работ при капитальном ремонте, как правило, ведется в эксплуатируемом здании, что значительно ограничивает выбор методов усиления конструкций из-за стесненных условий. Наиболее часто в усилении нуждаются изгибаемые железобетонные элементы, такие как балки или плиты покрытия и перекрытия.

Замена таких конструкций в эксплуатируемом здании практически не возможна и в большинстве случаев не целесообразна, разумеется, если того не требует техническое состояние конструкции. Выбор между заменой и усилением конструкции зависит от конкретных факторов для каждого отдельного случая. Так же усиление конструкций актуально при модернизации зданий и сооружений, так как предполагает повышение несущей способности уже существующих элементов, что экономически выгодно. При выборе метода усиления основные критерии, которым уделяется внимание, – это технологичность, простота и экономичность.

**Основная часть.** Разрушение изгибаемых железобетонных элементов может произойти по трем направлениям: по растянутой зоне, по сжатой зоне или в зоне среза. Цель данной работы заключается в изучении методов усиления растянутой зоны изгибаемых железобетонных элементов.

Усиление изгибаемых железобетонных элементов в растянутой зоне достигается за счет увеличения поперечного сечения рабочей арматуры в существующей конструкции. Условно можно разделить существующие методы усиления растянутой зоны изгибаемых железобетонных элементов на две группы, по способу обеспечения совместной работы существующей конструкции с элементами усиления:

-установка дополнительной арматуры с приваркой к рабочей арматуре существующей конструкции и ее последующим обетонированием;

-приклеивание дополнительных элементов на поверхности существующей конструкции в растянутой зоне.

Применение все новых материалов в строительстве и стремление к более простому и быстрому выполнению работ оттеснило первую группу методов усиления на второй план. Основными недостатками данных методов усиления являются необходимость отбивки защитного слоя существующей конструкции в местах устройства дополнительных арматурных стержней и высокая трудоемкость проводимых работ.

К методам усиления второй группы можно отнести приклеивание стальных пластин к поверхности усиливаемых конструкций [1, 2], применение углепластиковой арматуры [3, 4, 5, 6], а также приклеивание дополнительных сборных железобетонных элементов [7, 8].

Метод усиления изгибаемых железобетонных элементов в растянутой зоне приклеиванием стальных пластин привлекателен благодаря нескольким основным преимуществам: простоте производства работ по усилению и минимальному изменению общего размера конструкции после усиления. Сохранение полезного пространства зданий и сооружений является не маловажным преимуществом при выборе метода усиления. Однако, основным недостатком такого метода является опасность коррозии на границе контактного шва, которая отрицательно влияет на прочность сцепления [1]. Недостаточное сцепление в контактном шве может привести к полному нарушению связи между частями конструкции.

Изучению усиления железобетонных конструкций углепластиковой арматурой на сегодняшний день посвящено множество работ [3, 4, 5, 6, 9]. Данный вид усиления, как и описанный ранее, позволяет сохранить полезную площадь помещений, за счет

незначительного увеличения размеров усиливаемой конструкции и также не требует высоких трудозатрат при производстве работ по усилению. В работах Ф. Церони [6] представлены результаты испытаний железобетонных балок, усиленных как стержнями из углепластика, так и пластинами на основе углеродистых волокон. Также проводились экспериментальные исследования сборных железобетонных плит перекрытий, усиленных углеволокнистыми пластинами [9]. Важной проблемой при применении в качестве усиления углепластиковой арматуры является долговечность, которая напрямую связана с работой клеящего состава [3]. Выбор клеящего состава должен основываться на обеспечении соответствующего сцепления, при этом сохраняя свои качества на протяжении длительного времени и гарантируя надежную совместную работу конструкции с элементами усиления. Так же основываясь на данных, приведенных выше источников, можно отметить следующие недостатки, характерные для материалов на основе углеволокна:

- высокая стоимость;
- эксплуатационная температура работы не должна превышать примерно 60-150°С, что говорит о низком пределе огнестойкости;
- разрушение носит хрупкий характер.

Усиление железобетонных элементов приклеиванием сборных железобетонных элементов позволяет решить проблему коррозии арматуры, так как она в данном случае скрыта в теле бетона. В своей работе А. Дени и М. Текин [8] применяли в качестве усиливающих конструкций сборные железобетонные элементы прямоугольного и U-образного поперечного сечения. Толщина элементов усиления принималась 80 и 120 мм, что значительно увеличивает размеры усиливаемой конструкции. В своей работе А. Дени привел результаты экспериментальных исследований, а также теоретические расчеты несущей способности усиленных элементов. Поскольку в уравнениях при расчете не учитывались анкерные стержни и эпоксидный клей, экспериментальные и теоретические результаты для усиленных балок несовместимы [8]. Работа усиленной конструкции при данном методе усиления наиболее предсказуема, так как усиливаемый элемент и элемент усиления выполнены из одного материала.

С целью уменьшения поперечного сечения элементов усиления, без потери прочности, следует рассмотреть вариант усиления железобетонных конструкций приклеиванием дополнительных сборных преднапряженных элементов. Анализ имеющихся статей и публикаций по данной тематике показал, что результатов по исследованию методов усиления с использованием сборных преднапряженных железобетонных элементов недостаточно. Поэтому основной задачей в этом направлении является разработка практических рекомендаций по расчету и использованию данного метода усиления.

Для разработки рациональных рекомендаций по расчету изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне приклеиванием дополнительных сборных предварительно напряженных элементов, необходимо изучить характер разрушения усиленных элементов.

Для получения данных о характере работы железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне приклеиванием дополнительных сборных преднапряженных элементов, были запроектированы:

– опытные образцы изгибаемых железобетонных элементов в виде балок прямоугольного поперечного сечения 150мм(б)х250мм(н), длиной 3м. (Рисунок 1)

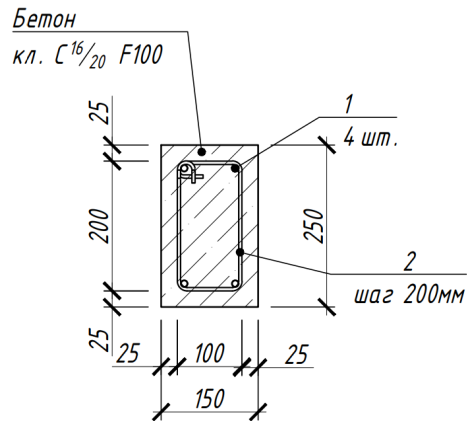


Рисунок 1. – Запроектированный опытный образец балка Б-0

– усиливающие пластины в виде преднапряженных сборных железобетонных элементов прямоугольного поперечного сечения 150мм(б)х40мм(н). (Рисунок 2)

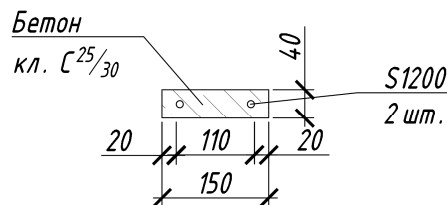


Рисунок 2. – Запроектированная плита усиления П-0

Испытание опытных образцов планируется проводить в 3 серии, по 3-4 образца в каждой серии.

Первый образец в каждой серии планируется принимать за эталонный, проводить испытания без усиления. На основании данных, полученных при испытании первого образца, в дальнейшем будет определена степень нагружения опытных образцов перед усилением.

В качестве варьируемых параметров при проведении эксперимента были выбраны:

– степень нагружения опытных образцов при усилении (от начального уровня нагрузки, определяемого их собственным весом и весом испытательного оборудования, до предаварийного состояния конструкции);

– способ обеспечения совместной работы балок с элементами усиления (приклеивание, приклеивание с устройством анкерных стержней).



Крепление плит усиления к железобетонным балкам будет осуществляться при помощи эпоксидного клея. Для серии образцов с анкерными стержнями, перед креплением плиты усиления на поверхности балки, в растянутой зоне будут выполнены отверстия под анкерные стержни глубиной 150мм.

**Заключение.** Существует множество методов усиления изгибаемых железобетонных конструкций в растянутой зоне. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки. В данной работе предложен перспективный метод усиления приклеиванием дополнительных сборных предварительно напряженных железобетонных элементов. Данный метод усиления не требует высоких трудозатрат при производстве работ непосредственно на строительной площадке, так как все элементы заранее изготовлены. Так же такой тип усиления не портит эстетический вид конструкции и позволяет сохранить полезную площадь помещений.

Усиление изгибаемых железобетонных элементов приклеиванием в растянутой зоне дополнительных сборных преднапряженных элементов еще не освоено для массового применения и требует детального изучения. Однако для разработки рациональных рекомендаций по расчету и практическому использованию необходимо изучить характер разрушения усиленных элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sevuk, F. Retrofit of damaged reinforced concrete beams by using steel plate / Sevuk F., Arslan G. //Structures congress, ASCE, New York, USA. – 2005.
2. Arslan, G. Steel plate contribution to loadcarrying capacity of retrofitted RC beams / Arslan G., Sevuk F., Ekiz I.// Const. Build. Mater., 22: 143-153. – 2008.
3. Параничева, Н.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов / Н.В. Параничева, Т.В. Назмеева // Инженерно-строительный журнал, №2. – 2010.
4. El-Mihilmy M.T. and Tedesco W.J. Analysis of reinforced concrete beams strengthened with FRP laminates/ El-Mihilmy M.T. and Tedesco W.J.// J. Struct. Eng. ASCE., 126(6): 684-691. – 2000.
5. Е.Н. Бадалова. Прочность по нормальному сечению железобетонных многопустотных плит перекрытий, усиленных арматурой из углеродных волокон/ Е.Н.Бадалова // Вестник Полоцкого Государственного Университета. Серия Ф. – 2011.
6. Ceroni F. Experimental performances of RC beams strengthened with FRP materials / Ceroni F.// Const. Build. Mater., 24: 1547-1559. – 2010.
7. Buyukkaragoz, A. Finite element analysis of the beam strengthened with prefabricated reinforced concrete plate/ A. Buyukkaragoz // Scientific Research and Essays Vol. 5(6). – 2010. – pp. 533-544.
8. Demir, A. Tekin, M. Strengthening of reinforced concrete (RC) beams with prefabricated reinforced concrete (RC) plates/ A. Demir, M. Tekin// Scientific Research and Essays Vol. 6(21), pp. 4577-4586. – 2011.
9. Жукьян, А.П. Усиление сборных железобетонных панелей перекрытий арматурой на основе углеродного волокна/ А.П. Жукьян, Е.Н. Бадалова, Е.Д. Лазовский, Н.С. Сивушенко // Вестник Полоцкого Государственного Университета. Серия Ф. – 2008.

УДК 624.012.45

**УСИЛЕНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗОНЕ СРЕЗА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН****Т.Г. Козьянина, Е.Д. Лазовский**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: t.ermolaeva@psu.by

*Основной проблемой при реконструкции и техническом перевооружении зданий и сооружений является необходимость усиления строительных конструкций. Чаще всего усилению подлежат изгибаемые железобетонные элементы. Особое внимание необходимо уделить усилению зоны среза, так как помимо комбинаций изгибающего момента и продольных усилений, тут так же действуют поперечные усилия. В данной работе рассмотрены методы усиления зоны среза изгибаемых железобетонных элементов. Приведены основные достоинства и недостатки данных методов.*

**Ключевые слова:** *изгибаемый железобетонный элемент, зона среза, усиление.*

**STRENGTHENING OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS  
BY ADHESIVING ADDITIONAL PREFABRICATED PRESTRESSED ELEMENTS****T. Kazyanina, Y. Lazouski**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: t.ermolaeva@psu.by

*The main problem in the reconstruction and technical re-equipment of buildings and structures is the need to strengthen building structures. Most often, reinforced concrete elements are subject to reinforcement. Particular attention must be paid to strengthening the shear zone, since in addition to combinations of bending moment and longitudinal reinforcements, transverse forces also act here. In this paper, methods for strengthening the shear zone of flexible concrete elements are considered. The main advantages and disadvantages of these methods are given.*

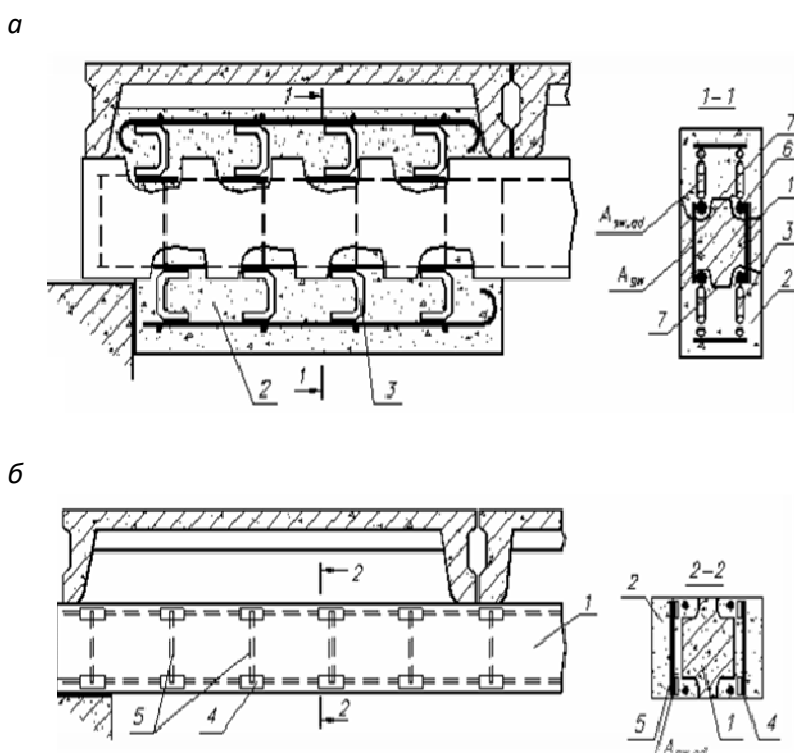
**Keywords:** *flexible reinforced concrete element, shear zone, reinforcement.*

**Введение.** В Республике Беларусь с каждым днем все более актуальным становится вопрос реконструкции и технического перевооружения зданий и сооружений, которые эксплуатируются в течении длительного времени. Уже давно стало известно, что произвести реконструкцию имеющихся фондов гораздо более экономически выгодно, так как окупаемость вложений происходит в разы быстрее, чем при новом строительстве. Проведении реконструкции и капитального ремонта так же обуславливается необходимостью восстановления физически изношенных отдельных частей конструкций и элементов, которые с течением времени перешли в состояние, отличное от про-

ектного. Проведение работ при капитальном ремонте и реконструкции зачастую ведется в эксплуатируемом здании, что существенно влияет на выбор метода усиления, из-за неприменимости и стесненных условий. Чаще всего в усилении нуждаются изгибаемые железобетонные элементы. Наиболее сложным для усиления является зона среза изгибаемых железобетонных элементов, так как помимо комбинаций изгибающего момента и продольных усилений, тут так же действуют поперечные усилия. Вариантов усиления таких конструкций уже довольно большое количество и выбор метода происходит в каждом отдельном случае в зависимости от факторов, характерных именно для данного реконструируемого здания. Однако сделать правильный выбор зачастую сложно, так как выбор метода усиления зависит от трех основных факторов: технологичность, простота и экономичность.

**Основная часть.** Усиление изгибаемых железобетонных элементов в зоне среза производится через увеличение сечения или увеличение поперечного армирования. Основными методами являются:

- устройство наращивания (рис. 1);

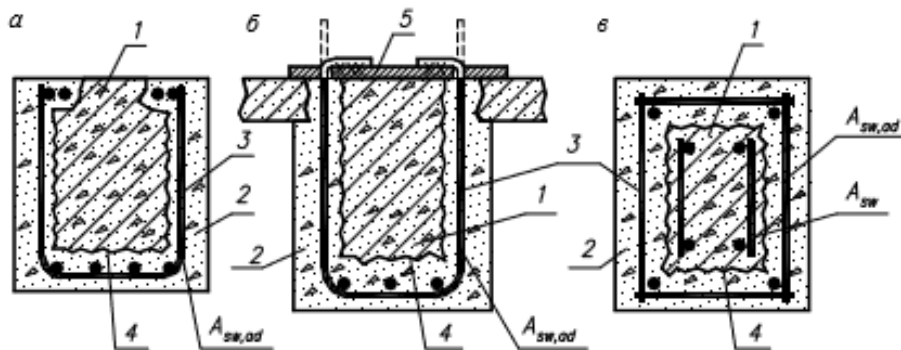


**а** – наращиванием со стороны верхней и нижней граней; **б** – наращиванием со стороны боковых граней:

1 – усиливаемая конструкция; 2 – бетон наращивания; 3 – скоба; 4 – пластина; 5 – дополнительная поперечная арматура; 6 – оголенная арматура конструкции; 7 – насечка поверхности

Рисунок 1. – Усиление зоны среза конструкций увеличением поперечного сечения

– устройство железобетонных обойм и рубашек (рис. 2);

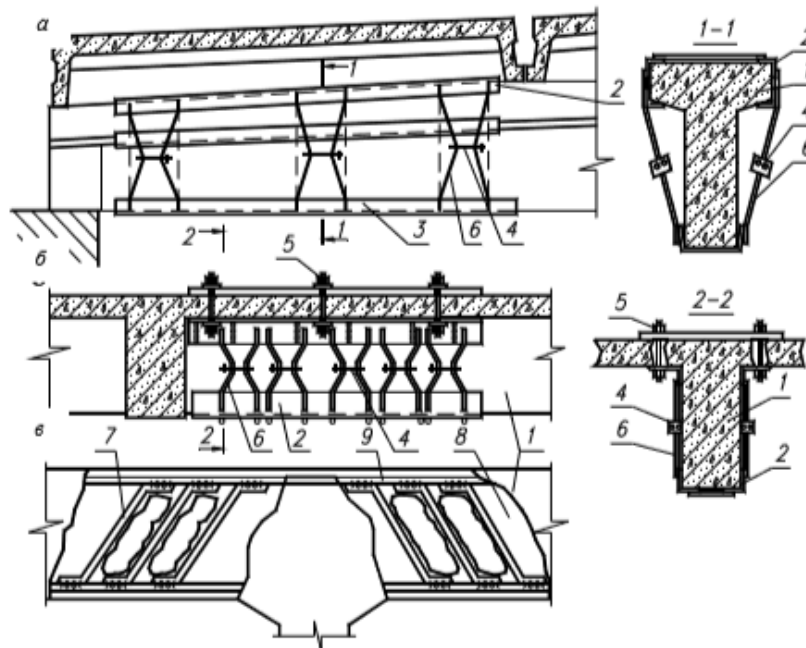


*а* – рубашкой при прямоугольном сечении; *б* – рубашкой при тавровом сечении; *в* – обоймой:

1 – усиливаемая конструкция; 2 – монолитный; 3 – дополнительная поперечная арматура; 4 – насечка поверхности; 5 – анкерная пластина

Рисунок 2. – Усиление зоны среза конструкций увеличением поперечного сечения

– устройство дополнительной поперечной арматуры в зоне среза (рис. 3);



*а* – сборной балки; *б* – балки монолитного перекрытия; *в* – балки с наклонными стержнями:

1 – усиливаемая конструкция; 2 – уголок; 3 – швеллер; 4 – стяжной болт; 5 – болт; 6 – дополнительная поперечная арматура; 7 – накладная арматура; 8 – борозды на боковой поверхности; 9 – существующая арматура

Рисунок 3. – Усиление зоны среза конструкций установкой дополнительной поперечной арматуры

Приведенные методы усиления имеют ряд недостатков:

- высокая трудоемкость;
- при усилении зоны среза увеличением поперечного сечения уменьшается полезная площадь высота этажа;
- высокая стоимость;
- неудобство применения в стесненных условиях.

Изучению усиления изгибаемых железобетонных элементов в зоне среза посвящено множество работ [1–5]. Применение новых строительных материалов, таких как применение композитной арматуры на сегодняшний день считается приоритетным и помогает решить некоторые из этих недостатков [1, 6]. Однако, основной проблемой при усилении увеличением поперечного сечения остается уменьшение полезной высоты, что на сегодняшний день является огромным недостатком.

С целью уменьшения поперечного сечения элементов усиления, без потери прочности, следует рассмотреть вариант усиления изгибаемых железобетонных элементов приклеиванием в зоне среза дополнительной арматуры из углеродных волокон. Применение данного материала не только дает возможность сохранить характеристики помещения, но и значительно уменьшить трудоемкость и технологичность производства работ. Применение углеродного волокна в реконструкции также же характеризуется простотой и удобством использования, поскольку элементы внешнего армирования закрепляются на конструкции с помощью клея (эпоксидного, эпоксиполиуретанового или полицементного), они эффективно реагируют на приращение деформаций в элементах конструкций. Также применение данного материала позволяет сократить сроки проведения реконструкции, при этом увеличивая несущую способность конструкций в несколько раз по сравнению с традиционными способами [7, 8].

Для разработки рациональных рекомендаций по расчету изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза приклеиванием дополнительной арматуры из углеродных волокон, необходимо изучить характер разрушения усиленных элементов.

Для получения данных о характере работы железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне среза приклеиванием дополнительной арматуры из углеродных волокон, были запроектированы опытные образцы изгибаемых железобетонных элементов в виде балок прямоугольного поперечного сечения 150мм(б)х250мм(н), длиной 3 м (рис. 4).

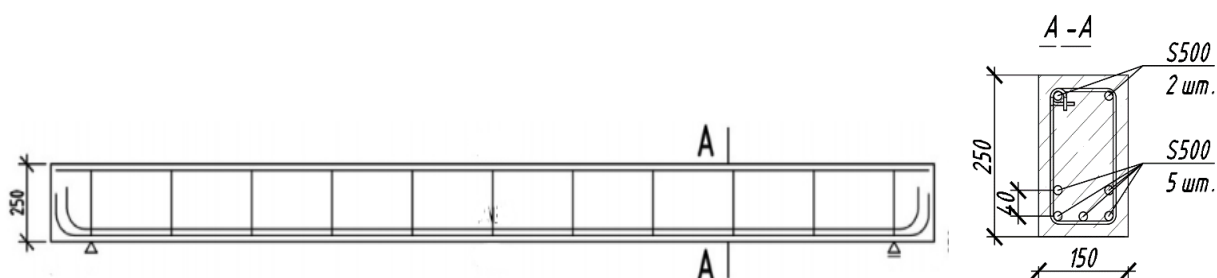


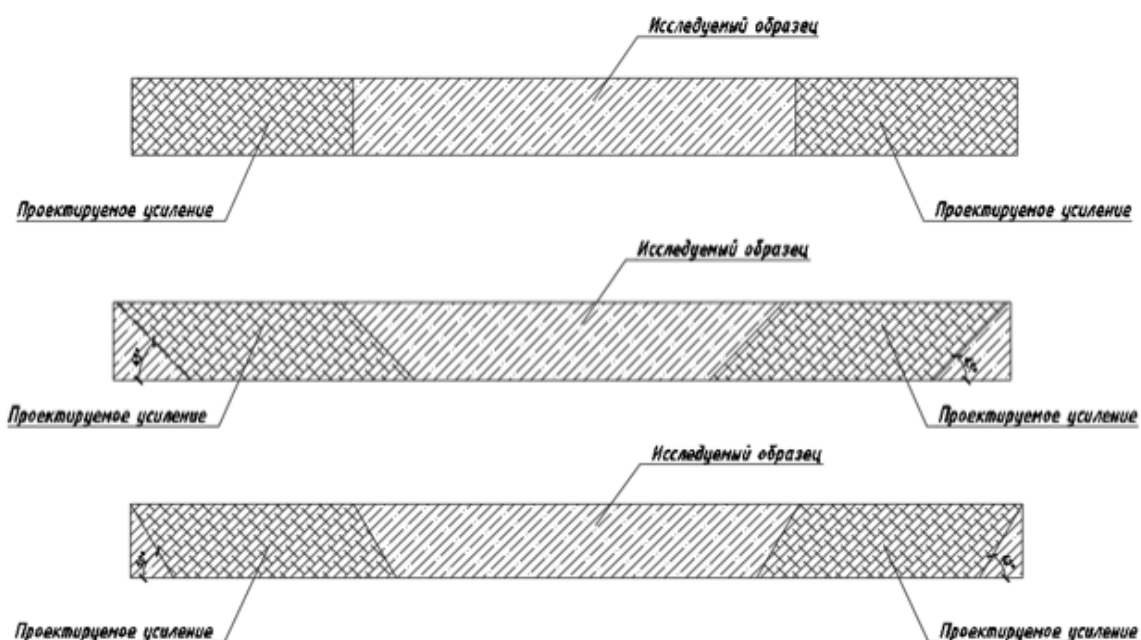
Рисунок 4. – Запроектированный опытный образец

Испытание опытных образцов планируется проводить в 3 серии, по 3-4 образца в каждой серии.

Первый образец в каждой серии планируется принимать за эталонный, проводить испытания без усиления. На основании данных, полученных при испытании первого образца, в дальнейшем будет определена степень нагружения опытных образцов перед усилением.

В качестве варьируемых параметров при проведении эксперимента были выбраны:

- степень нагружения опытных образцов при усилении (от начального уровня нагрузки, определяемого их собственным весом и весом испытательного оборудования, до предаварийного состояния конструкции);
- количество слоев дополнительной арматуры;
- угол расположения волокон по отношению к продольной оси опытного образца (рис. 5).



**Рисунок 5. – Запроектированный опытный образец с различным углом расположения волокон по отношению к продольной оси (90°, 45°, 60°)**

В ходе проведения испытаний планируется:

- получение новых экспериментальных данных о характере совместной работы изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза приклеиванием дополнительной арматуры из углеродных волокон;
- получение экспериментальных данных о характере разрушения изгибаемых железобетонных элементов, в зоне среза приклеиванием дополнительной арматуры из углеродных волокон
- получение данных для разработки методики расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза приклеиванием дополнительной арматуры из углеродных волокон.

**Заключение.** На сегодняшний день известно достаточно большое количество методов усиления изгибаемых железобетонных элементов в зоне среза, которые имеют свои достоинства и недостатки. Однако появление новых материалов предоставляет возможность применения новых методик, которые будут иметь преимущества перед уже известными методами. В данной работе рассмотрен наиболее перспективный метод усиления зоны среза, так он более технологичен, прост в применении, уменьшает трудоемкость производства работ и экономически более выгоден. Он помогает сохранить полезную высоту этажа и не портит внешний вид конструкции.

Данный вид усиления изгибаемых железобетонных элементов приклеиванием в зоне среза дополнительной арматуры из углеродных волокон не имеет широкого применения в нашей республике и требует детального изучения. Однако, для разработки рациональных рекомендаций по расчету и практическому использованию данной методики необходимо изучить характер разрушения элементов, усиленных приклеиванием дополнительной арматуры из углеродных волокон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование реконструкции зданий и сооружений// учеб.-метод. комплекс. В 3 ч. Ч. 2. Оценка состояния и усиление строительных конструкций / Д.Н. Лазовский. – Новополоцк : ПГУ, 2010. – 340 с.
2. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: общий курс. Учебник для вузов / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – 5-е изд. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
3. Байков, В.Н. Особенности работы приопорных участков балок / В.Н. Байков, А.С. Залесов // Бетон и железобетон. – 1984. – №7. – С.20-22.
4. Бадалова, Е.Н. Прочность по нормальному сечению железобетонных многоспустотных плит перекрытий, усиленных арматурой из углеродных волокон/ Е.Н. Бадалова // Вестник Полоцкого Государственного Университета. Серия F. – 2011. – С. 60–66.
5. Бондаренко, В.М. Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях. Учеб. пособие / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин; М.: МГАКХиС, – 2009. – 87 с.
6. Buyukkaragoz, A. Finite element analysis of the beam strengthened with prefabricated reinforced concrete plate/ A. Buyukkaragoz // Scientific Research and Essays Vol. 5(6). – 2010. – pp. 533-544.
7. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures / Reported ACI Committee 440: ACI440.2R-02, 2002. – 45 p.
8. Chen, J.F. Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete / J.F. Chen, J.G. Teng // J. of Structural Engineering. – 2001. – 9 7. – P. 784 – 791.
9. Motavalli, M. FRP composites for retrofitting of existing civil structures in Europe: state-of-the-art review/M. Motavalli, C. Czaderski [Electronic resource]. – American Composites Manufacturers Association, 2007.– Mode of access: <http://www.acmanet.org/resources/07papers/Motavalli183.pdf>. – Date of access: 23.01.2019
10. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / Э.С. Зеленский [и др.] // Рос. хим. журнал (Журнал Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева). – 2001. – Т. XLV, № 2. – С. 56–74.

УДК 624.153

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ДЕФОРМИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ  
СТРОЯЩЕГОСЯ 12-ЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА  
В МИКРОРАЙОНЕ ЮРЬЕВЕЦ г. ВЛАДИМИРА**

**А.И. Гандельсман, И.А. Гандельсман**

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: igvlsu@mail.ru

*Рассмотрены геологические и гидрогеологические условия площадки строительства, климатические факторы, проектное решение фундаментов, технология производства работ. Проанализированы условия твердения бетона фундаментной плиты с учетом внешних воздействий на конструкцию. Проведен геомониторинг конструкции. Определены полости в грунтовом основании, места и параметры повреждения фундаментной плиты. Намечены пути решения указанной проблемы в условиях конкретной строительной площадки.*

**Ключевые слова:** фундаментная плита, грунт, промерзание, геомониторинг

**RESEARCHES OF THE REASONS FOR DEFORMATION OF THE FOUNDATION PLATE  
OF THE CONSTRUCTION 12-STOREY RESIDENTIAL HOUSE  
IN THE MICRODISTRICT YURYEVETS, VLADIMIR**

**A. Gandelsman, I. Gandelsman**

Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,  
Russian Federation  
e-mail: igvlsu@mail.ru

*Discussed geological and hydrogeological conditions of the construction site, climatic factors, design solution of foundations, technology are considered. The conditions of concrete hardening of the Foundation plate are analyzed taking into account external influences on the structure. Geomonitoring of the structure was carried out. The cavities in the ground base, places and parameters of the Foundation damage by the helmet were determined. The ways of solving this problem in the conditions of a specific construction site are outlined.*

**Keywords:** foundation plate, soil, frost penetration, geomonitoring

**Введение.** В соответствии с рабочим проектом зимой 2019 г. произведены земляные работы и выполнена монолитная железобетонная фундаментная плита под строящийся многоэтажный жилой дом. Толщина плиты составляет 400 мм, в местах сопряжения с пилонами- 600 мм. Основное армирование выполнено верхней и нижней сетками из стержней  $\phi 12$  класса А500С (шаг- 200мм). Под пилонами выполнено дополнительное нижнее армирование сетками из стержней  $\phi 12-20$  класса А500С. В пролетах



выполнено дополнительное верхнее армирование арматурой  $\phi 12$ - 20 класса А500С. Арматура верхних сеток не заведена под пилоны. Толщина защитного слоя бетона составляет 40- 50 мм. Фундаментная плита выполнена из бетона класса В25 (W6,F75) по бетонной подготовке толщиной 100 мм из бетона класса В7,5.

Отметка подошвы фундаментной плиты в осях 1-10/А-Р составляет 3.470 м. что соответствует абсолютной отметке 154,400 м. В осях 20-21/Б-У выполнено понижение до отметки 153,600 мм. Отметки в осях 24-25/В-П- 154,400 мм, в осях 26/Б-У и далее - 155,600 мм.

**Основная часть.** В соответствии с данными ОАО «ВладимирТИСИЗ»: в геоморфологическом отношении площадка приурочена к правобережному склону долины р. Содышка. Рельеф площадки относительно ровный, с общим уклоном в северо-западном направлении. Абсолютные отметки поверхности на момент изысканий составили 154,33– 160,21 м. Сток поверхностных вод местами затруднен.

В геологическом строении площадки на глубину бурения скважин до 14 м принимают участие современные четвертичные ( $Q_{IV}$ ), среднечетвертичные ( $Q_{III}$ ) и нижнемеловые отложения ( $K_1$ ). С поверхности залегают современные четвертичные отложения представленные почвенно-растительным слоем ( $pdQ_{IV}$ ) мощностью 0,2-0,6 м. Под современными четвертичными отложениями местами залегают среднечетвертичные отложения представленные песком мелким ( $fQ_{III}$ ). Его мощность изменяется от 0,6 до 3,0 м. Ниже по разрезу с абсолютных отметок 153,81 - 155,76 м. на участке дома №14 на площадках трансформаторных подстанций залегают нижнемеловые отложения ( $K_1$ ), представленные песком мелким, средней крупности, глиной.

На площадке дома верхняя часть разреза сложена песком мелким, ниже - средней крупности. Мощность песка мелкого колеблется от 1,7 м до 5,8 м, мощность песка средней крупности составляет 1,1-2,2 м. Пески подстилаются нижнемеловой глиной с прослоем песка мелкого в середине. Мощность глины изменяется от 1,8 м до 2,2 м, мощность прослоя песка мелкого составляет 0,2-1,4 м. Ниже по разрезу залегает песок мелкий, его мощность составляет 1,3-2,4 м. Песок мелкий подстилает нижнемеловая глина, вскрытая мощность которой изменяется от 0,8 м до 3,2 м.

По результатам выполненных полевых и лабораторных работ на исследуемой площадке выделено 5 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

**ИГЭ-1.** Почвенно-растительный слой с корнями растений. Насыпной грунт: песок мелкий, желтый, влажный, средней плотности; суглинок коричневый, тугопластичный, с прослоями песка. По степени уплотнения от собственного веса относится к неслежавшемуся.

**ИГЭ-2, 2а.** Песок мелкий, светло-коричневый, жёлтый, коричневый, кварцевый, маловлажный и водонасыщенный, плотный и средней плотности, с тонкими прослойками суглинка, глины и ожелезнения, водно-ледниковый.

**ИГЭ-3.** Песок средней крупности, коричневый, зеленовато-серый, кварцевый, средней плотности, водонасыщенный, с тонкими прослойками глины, нижнемеловой.

**ИГЭ-4.** Глина серая до черной, полутвердая до твёрдой, песчанистая, с прослойками и линзами песка мелкого, с прослоями ожелезнения, слюдистая, нижнемеловая.

Гидрогеологические условия площадки характеризуются наличием водоносного горизонта, приуроченного к водно-ледниковым и нижнемеловым отложениям. Уровень воды во время изысканий встречен на глубине 1,58-2,60 м (абсолютные отметки 153,41-155,18 м).

Водовмещающими грунтами являются водно-ледниковый и нижнемеловой песок мелкий, средней крупности, прослойки мелкого песка в нижнемеловой глине. Коэффициенты фильтрации песка мелкого равен 0,04-0,8 м/сут, песка средней крупности- 0,1-2,0 м/сут. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Поток подземных вод направлен на северо-запад.

В качестве основания в проектом решении приняты грунты ИГЭ-2 (модуль деформации  $E_0=35\text{МПа}$ ) пески мелкие плотного сложения и ИГЭ-2а (модуль деформации  $E_0=25\text{МПа}$ ) – пески мелкие средней плотности. Различие в сжимаемости грунтов основания фундаментной плиты составляет 1,4 раза. Указанное значение находится в рамках действующих нормативных документов, но следует обратить особое внимание при расчетах относительных осадок здания.

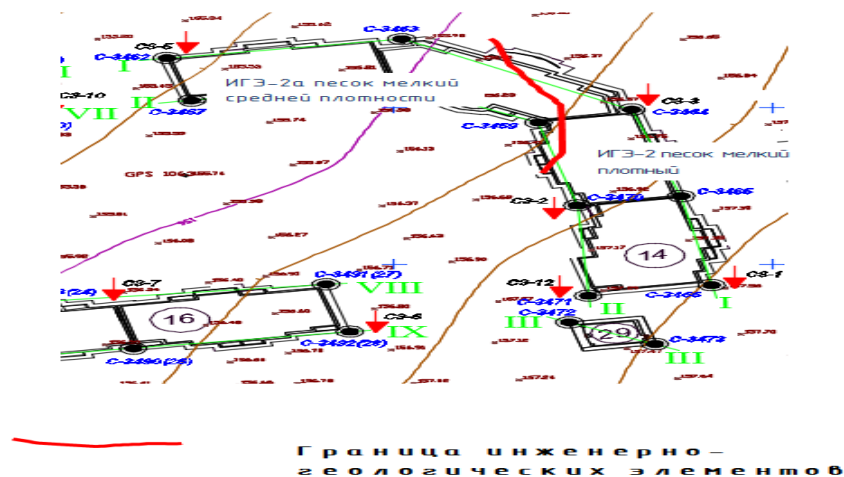


Рисунок 1. – Границы различных грунтов под подошвой фундаментной плиты

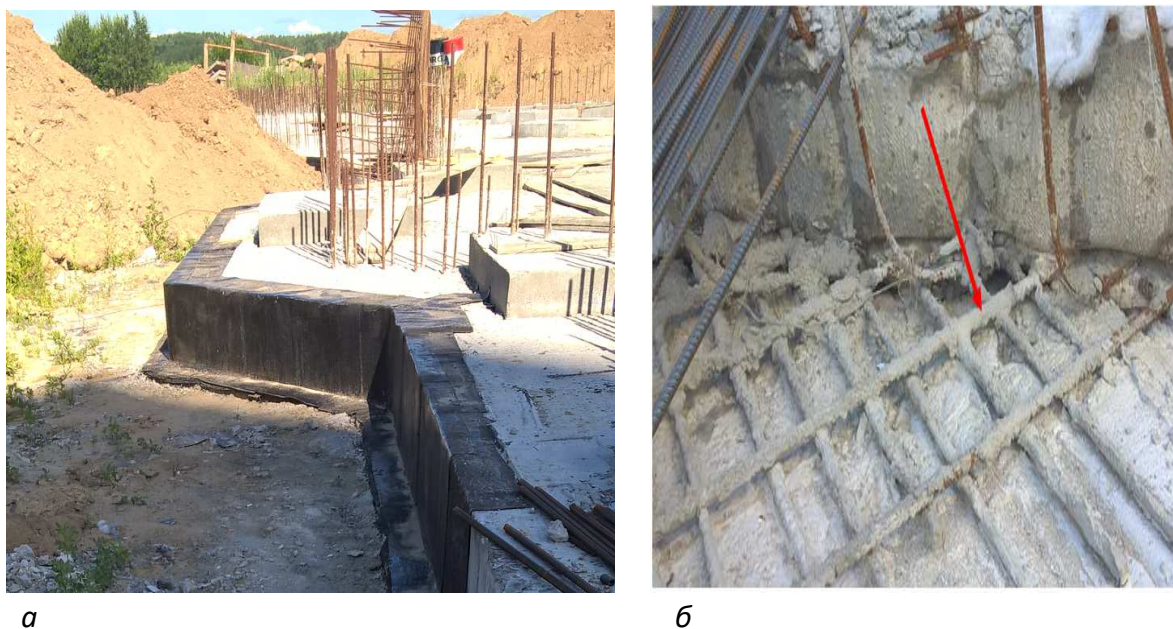
Под подошвой фундаментной плитой одновременно залегают водонасыщенные и маловлажные мелкие пески. Относительная деформация пучения которых отличается в 3 раза  $\varepsilon_{fn}= 0,03$  и  $0,01$ , соответственно. Это приводит к возникновению неравномерной осадки.

Земляные работы на объекте производились в зимнее время (март 2019 г.) при отрицательных температурах наружного воздуха. Мероприятия по защите грунтов от промерзания не производились. Котлован остается вскрытым до настоящего времени. Силы морозного пучения в водонасыщенных грунтах весьма высоки и достигают  $10-15 \text{ тс/м}^2$ .

Бетонные работы также производились в зимнее время. Уход за бетоном не соответствовал нормативным требованиям зимнего бетонирования. Имеются места перегрева бетонной смеси, деструкции лицевого слоя бетона фундаментной плиты, усадочные трещины, недостаточная толщина защитного слоя арматуры. Указанные

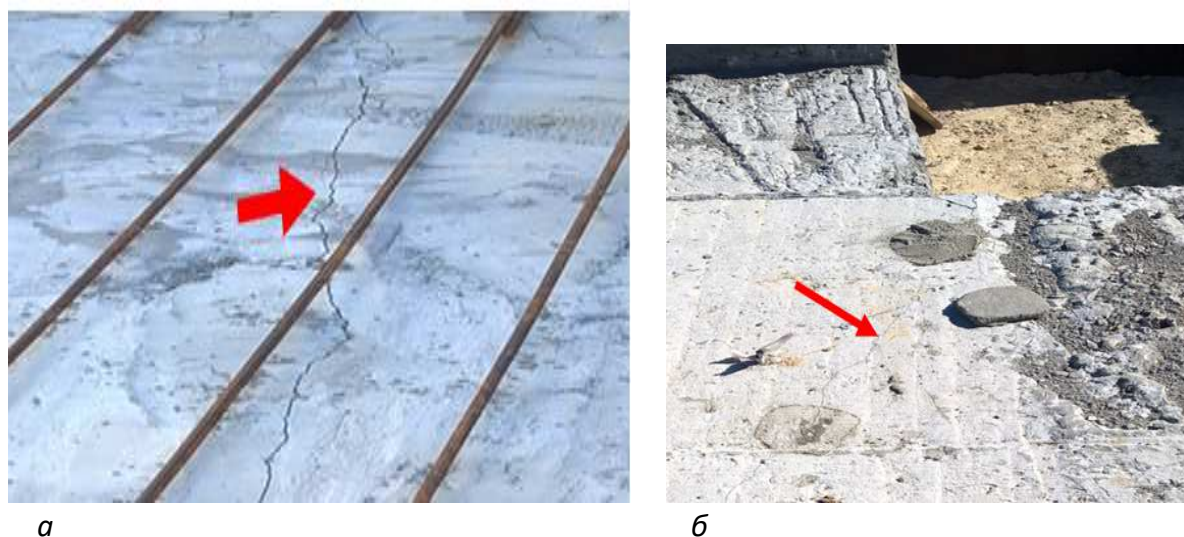
дефекты имеют локальное распространение и не оказывают существенного влияния на работу конструкции(рис. 3).

Совокупность негативных факторов привела к образованию трещин в фундаментной плите строящегося здания с шириной раскрытия от 0,5 до 1,5 мм по направлению к верху фундаментной плиты (рис.3).



**а** –общий вид фундаментной плиты; **б** – нижнее армирование фундаментной плиты

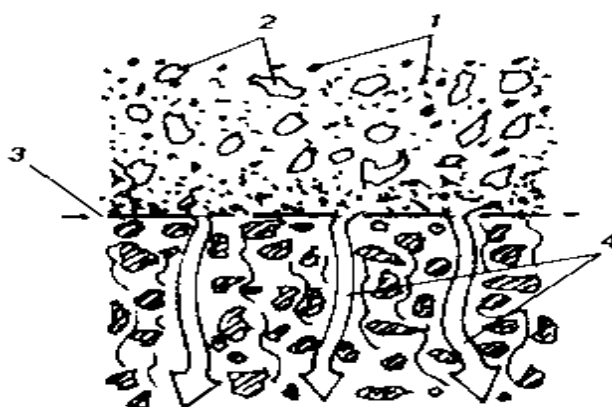
**Рисунок 2. – Фундаментная плита жилого дома:**



**а** – осадочная трещина фундаментной плиты в секции 1;  
**б** – осадочная трещина фундаментной плиты в секции 2

**Рисунок 3. – Трещины в фундаментной плите от неравномерных осадок**

Процесс промерзания грунта происходит сверху вниз, при этом граница между влажным и мерзлым грунтом опускается с некоторой скоростью, определяемой, в основном, погодными условиями (рис.4). Влага, превращаясь в лед, увеличивается в объеме, вытесняя сама себя в нижние слои грунта, сквозь его структуру. Пучинистость грунта определяется также тем, успеет ли выдавливаемая сверху влага просочиться через структуру грунта или нет, хватит ли степени фильтрации грунта, чтобы этот процесс прошел с пучением или без него. Крупнозернистый песок не создает влаге никакого сопротивления, иная ситуация с мелким песком. В этом случае выровнять степень влажности по всему периметру здания, сгладить неравномерность пучинистых явлений не получается.



1 – песок; 2 – лед; 3 – граница промерзания; 4 – вода

Рисунок 4. – Грунт на границе промерзания

Наличие давления от веса строения также сказывается на проявлении пучинистых явлений. Если слой грунта под подошвой фундамента сильно уплотнить (создать нагрузку на основание не менее, чем от трех этажей), то и степень пучинистости его уменьшится. Причем, чем больше будет само давление на единицу площади основания, тем больше будет объем уплотненного грунта под подошвой фундамента и меньше величина пучения. В нашем случае возведена лишь фундаментная плита, т.е. нагрузка незначительна.

Бетонирование фундаментной плиты производилось в марте 2019 г. при отрицательных температурах наружного воздуха. Основание под фундаментную плиту не утеплялось, что привело к укладке бетонной смеси на замороженное основание.

Установленные для контроля динамики развития деформаций растворные маяки на поверхности фундаментной плиты на момент исследования треснули (рис 5).

Для контроля состояния фундаментной плиты произведен геодезический мониторинг фундаментной плиты, установлены растворные маяки, выполнены зондажи фундаментной плиты в секциях 1 и 2 и грунтов основаниями под ними.

Геодезический мониторинг, проведенный с 14.05.2019 г. по 23.06.2019 г., показал, что осадка, несмотря на незначительные нагрузки на основание (только от собственно-

го веса фундаментной плиты), за указанный период не стабилизировалась, развитие деформаций (от 1 до 3 мм) основания фундаментной плиты происходит без роста внешних нагрузок (табл.1н). Даже в пределах каждой секции осадки имеют различные значения, что указывает на неравномерность осадок основания, что является причиной прогиба фундаментной плиты с последующим образованием трещин.

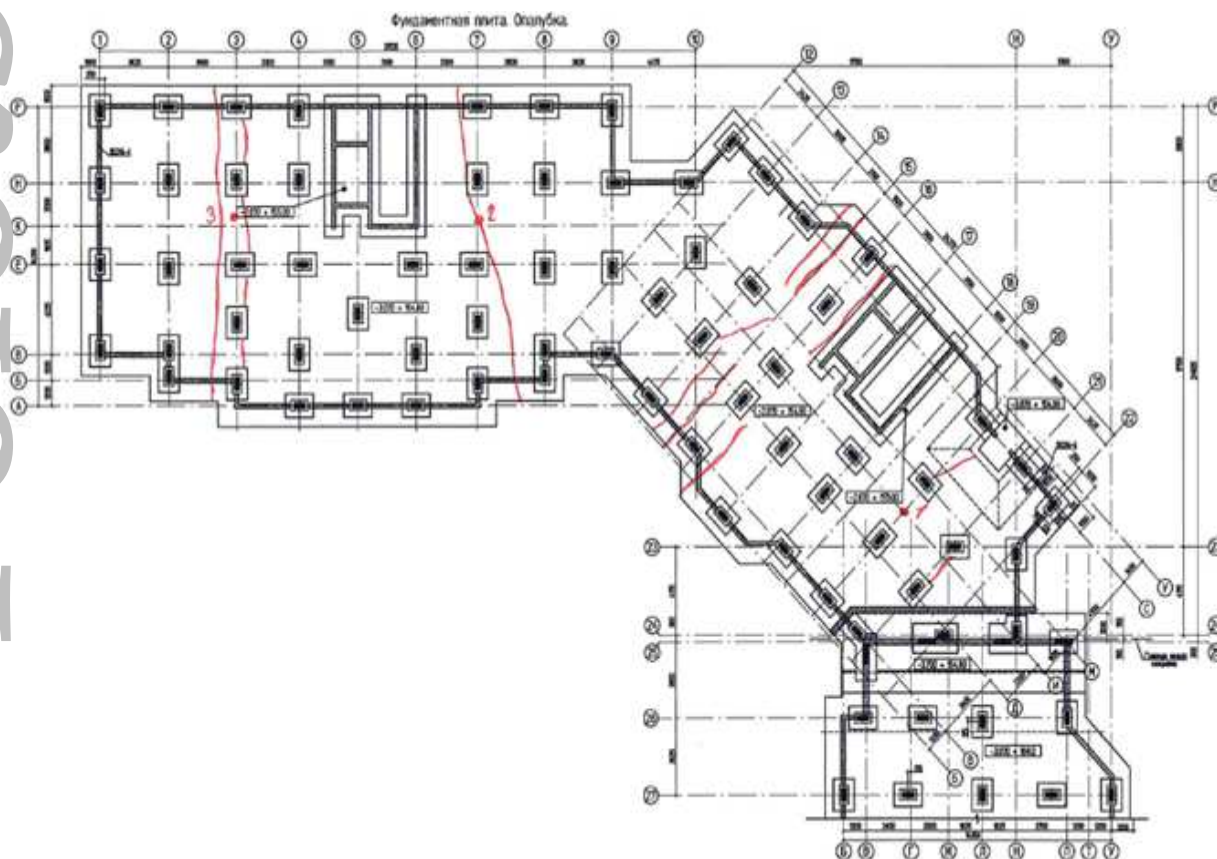


Рисунок 5. – Схема расположения трещин в фундаментной плите

Таблица 1. – Результаты геодезического контроля за осадками фундаментной плиты

Номера точек геодезического контроля	Величины абсолютных отметок поверхности фундаментной плиты по даты проведения контроля, м						
	14.05.19	17.05.19	24.05.19	31.05.19	07.06.19	14.06.19	23.06.19
1	154.780	154.779	154.778	154.777	154.776	154.776	154.776
2	154.776	154.775	154.775	154.775	154.774	154.773	154.773
3	154.789	154.788	154.788	154.787	154.787	154.786	154.785
4	154.741	154.741	154.740	154.740	154.740	154.740	154.740
5	154.774	154.773	154.772	154.770	154.767	154.766	154.765
6	154.759	154.759	154.758	154.757	154.756	154.756	154.755
7	154.800	154.801	154.800	154.800	154.799	154.798	154.797

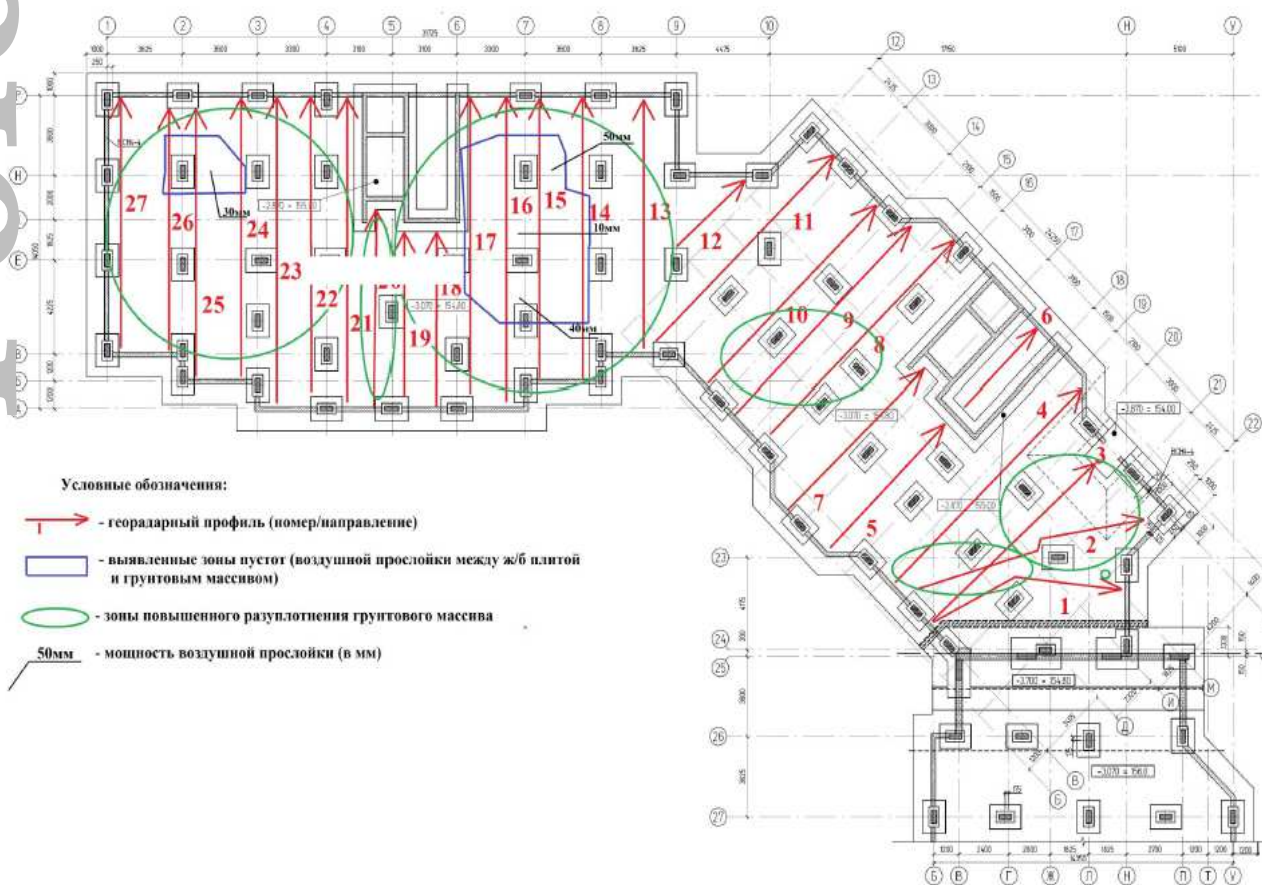
Для дополнительной оценки состояния грунтов основания под подошвой фундамента выполнены зондажи в трех местах в фундаментной плите.

Точка №1 расположена в осях «И/20». Толщина бетона и подбетонки соответствуют проекту. Полости под подошвой фундаментной плиты не обнаружено.

Точка №2 расположена в осях «Н-К/7». Толщина бетона и подбетонки составляет 460 мм (отклонение от проектного решения 500 мм). Обнаружена полость под подошвой фундаментной плиты около 100 мм.

Точка №3 расположена в осях «Н-К/3». Толщина бетона и подбетонки составляет 550 мм (отклонение от проектного решения 500 мм). Обнаружена полость под подошвой фундаментной плиты около 30 мм.

Дополнительно на площадке проведено инженерно-геофизическое обследование железобетонной плиты (рис. 6).



**Рисунок 6. – Схема георадиолокационного исследования с зонами пустот и разуплотнений**

По результатам исследования (рис. 7, 8), выявлены под фундаментной плитой пустоты 9 воздушные прослойки) от 10 до 30 мм, зоны разуплотнения на глубину до 1,5 м.

Полученные данные указывают на неполный контакт подошвы фундаментной плиты с основанием.

По данным определения гранулометрического состава грунта [3] основания объем пылеватых частиц составляет 4,2% от общего объема грунта, что определяет объем потенциальных полостей. Исследуемый грунт – песок мелкий

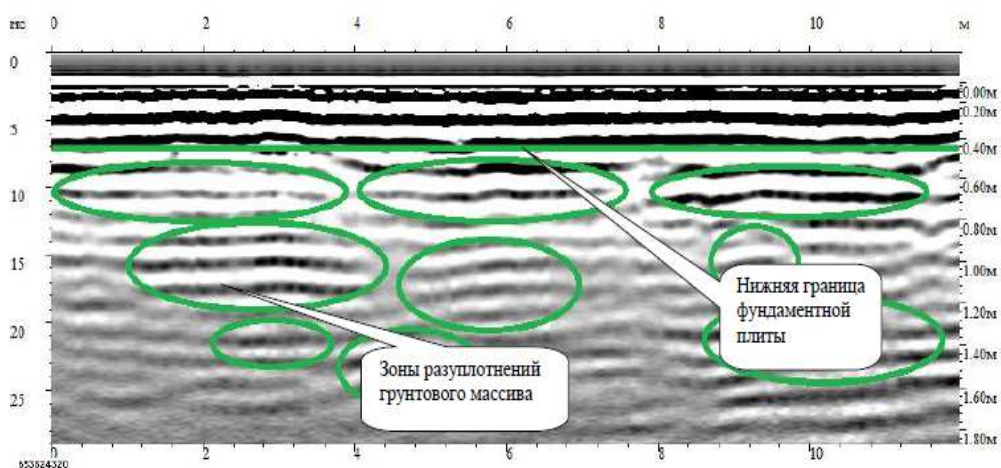


Рисунок 7. – Глубинный разрез по георадиолокационному профилю в секции 1

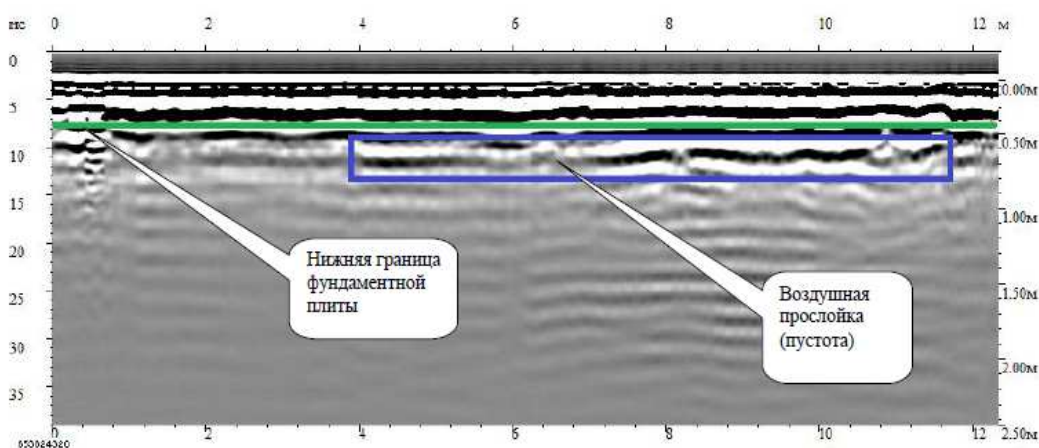


Рисунок 8. – Глубинный разрез по георадиолокационному профилю в секции 2

Таблица 2. – Результаты определения деформации морозного пучения

Наименование показателя	Единичные значения, %	Средние значения, %
Относительная деформация морозного пучения образца грунта	4,9	4,4
	4,1	
	4.2	

Примечание. Степень пучинистости по ГОСТ 25100-2011 – среднепучинистый.

**Заключение.** Деформации фундаментной плиты произошли вследствие действия совокупности негативных факторов:

- промораживания грунтов основания фундаментной плиты перед укладкой бетонной смеси, что привело к неравномерной сжимаемости основания;
- нарушением толщины защитного слоя арматуры;
- неправильным уходом за свежееуложенным бетоном в период гидратации цемента;
- отсутствия мероприятий по исключению замачивания основания поверхностными водами во время производства работ «нулевого цикла».

В соответствии с Классификатором основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов при осмотре на объекте выявлены следующие критические дефекты:

- невыполнение защиты дна котлованов и траншей в грунтах, меняющих свои свойства под влиянием атмосферных воздействий,
- невыполнение мероприятий по уходу за бетоном в зимний и летний периоды,
- нарушение правил зимнего бетонирования,

К значительным дефектам следует отнести:

- отклонения в толщине защитного слоя превышают нормативные,
- бетонные поверхности имеют раковины, поры и обнажения арматуры.

Общее техническое состояние фундаментной плиты на момент исследования, согласно [1], можно оценить как ограниченно-работоспособное.

Дальнейшее производство работ по возведению конструкций жилого дома до устранения причин, вызывающих неравномерные деформации основания фундаментов производить недопустимо. Для приведения основания и фундамента в работоспособное состояние необходимо выполнить ряд мероприятий:

- произвести цементацию грунтов основания [4];
- усиление фундаментной плиты путем устройства сплошного армирования верхней части плиты с последующим бетонированием бетоном кл. В25;
- засыпку пазух производить непучинистым грунтом (крупнозернистым песком, щебнем пеностекла и т.п.).

При этом следует учитывать, что размеры фундаментной плиты превышают требуемую (по расчетам) площадь фундамента для 12-этажного дома, среднее давление под подошвой фундамента значительно ниже расчетного сопротивления грунта на данной отметке, абсолютные осадки ниже предельно допустимых значений, имеется незначительное содержание в основании пылеватых частиц в единичном объеме грунта (4,2%).

При невыполнении указанных мероприятий не представляется возможным обеспечить надежную работу основания и фундаментов, следовательно, требуется полный демонтаж выполненной фундаментной плиты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: ГОСТ 31937-2011.– Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2012 г. № 1984-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1.01.2014 г.– Москва, 2014.– 89 с.
2. Основания зданий и сооружений: СП 22.13330.2016 Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.– Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 16.12.2016 г. №970/пр и введен в действие 17.06.2017 г.– Москва, 2016.– 226 с.
3. Пономарев, А.Б. О современных методах экспресс-контроля характеристик насыпных грунтов/А.Б. Пономарев, С.А. Сазонова, С.Б. Румянцев //Геотехника.–2017.– №3.–С.4-9.
4. Байбурин, А.Х. Усиление методом цементации основания ленточного фундамента здания торгового комплекса в г. Челябинске/А.Х. Байбурин, Е.Н. Серебренникова, Д.В. Куличкин, Д.А. Байбурин// Вестник ЮУрГУ. Серия Строительство и архитектура.–2015.–№1. Том 15.– С.18-24.



УДК 693.22.004.18

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
НЕЗАВЕРШЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВОМ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ  
ПО УЛ. ПЛАТОНОВА В Г. МИНСКЕ**

**С.Н. Леонович, А.И. Пелюшкевич, Н.Я. Казаченко**

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: leonovichsn@tut.by, 3260958@mail.ru, 6243931@mail.ru

*В статье приведены результаты обследования технического состояния строительных конструкций незавершенного строительством здания поликлиники для размещения стоматологического факультета БелГИУВ по ул. Платонова в г. Минске. В результате визуального и инструментального обследования строительных конструкций, выполненных поверочных расчетов и анализа полученных результатов сделаны выводы о техническом состоянии конструкций и даны соответствующие рекомендации.*

**Ключевые слова:** *обследование, конструкция, прочность, арматура, техническое состояние, дефект, повреждение, эксплуатационная пригодность, рекомендации, усиление.*

**TO THE QUESTION OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF THE CONSTRUCTION STRUCTURES  
OF THE ADMINISTRATIVE BUILDING UNFINISHED BY THE CONSTRUCTION  
IN PLATONOVA ST. IN MINSK**

**S. Leonovich, A. Peliushkevich, N. Kazachenko**

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

e-mail: leonovichsn@tut.by, 3260958@mail.ru, 6243931@mail.ru

*The article presents the results of a survey of the technical condition of building structures under construction of the building of the clinic for placement of the Faculty of Dentistry BSMU on Platonova st. in the city of Minsk. As a result of visual and instrumental examination of building structures, performed verification calculations and analysis of the results obtained, conclusions are made about the technical condition of structures and corresponding recommendations are given.*

**Keywords:** *survey, construction, strength, fittings, technical condition, defect, damage, operational fitness, recommendations, strengthening*

В 2014-2015 годах авторами статьи было выполнено обследование технического состояния возведенных строительных конструкций незавершенного строительством здания поликлиники для размещения стоматологического факультета БелГИУВ по ул. Платонова в г. Минске.

Обследование выполнялось с целью оценки технического состояния конструкций в связи с разработкой проектно-сметной документации на завершение строительства с увеличением этажности здания.

**Краткая техническая характеристика здания.** Обследуемый объект расположен по ул. Платонова в г. Минске, в квартале существующей жилой застройки (рисунок 1).

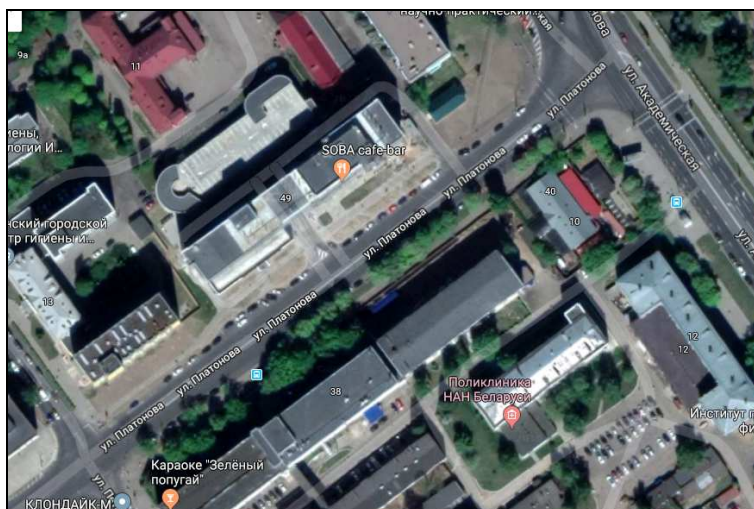


Рисунок 1. – Ситуационная схема расположения обследуемого объекта

Проект обследуемого объекта разработан проектная организация – «БЕЛГОСПРОЕКТ» (объект №5.89-01-АС) – «Поликлиника для размещения стоматологического факультета БелГИУВ по ул. Платонова в г. Минске» [1].

Здание запроектировано восьмиэтажным, с техническим этажом и подвалом. Максимальные размеры здания в плане – 101.0x21.1 м. Высота подвала - 3.0 м; этажей надземной части здания – 3.3 м.

В центральной части здания имеется арочное пространство, свободно сообщающееся с прилегающей территорией (рисунок 2).

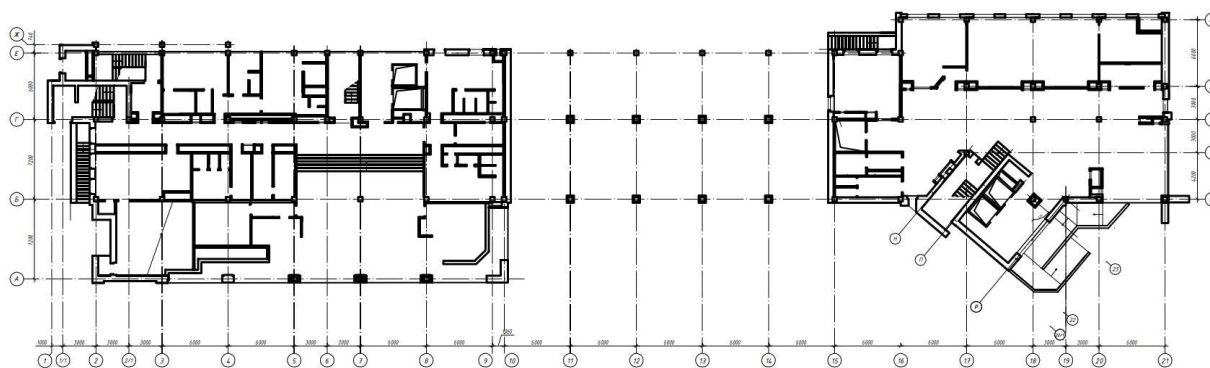


Рисунок 2. – Схематичный план 1-ого этажа здания

Сообщение между этажами осуществляется по трем лестницам в осях «Г-Е/2-3»; «Г-Е/6-7» и «Н-Р/22-23». Вход подвал предусмотрен снаружи здания в осях «Б-Г/1-2» и «Е/15-16».

В здании также предусмотрены 2 лифтовые шахты, расположенные в осях «Г-Е/7-8» и «П-Р/22-23».

Здание имеет каркасную конструктивную схему. Каркас запроектирован по связевой схеме с шарнирным сопряжением ригелей с колоннами по серии 1.020-1/83.

Пространственная устойчивость здания обеспечивается системой вертикальных устоев, объединенных горизонтальными дисками перекрытий и покрытия.

Участок размещения здания имеет спокойный рельеф без значительных перепадов планировочных отметок вдоль наружных стен. Обследуемый объект огорожен железобетонным забором, доступ на строительную площадку ограничен. Площадки и проезды имеют грунтовое покрытие.

Строительство здания велось в 1990-1994 годах, однако здание достроено не было. На момент проведения обследования здание не эксплуатировалось и находилось в недостроенном состоянии, мер по консервации объекта не выявлено (рисунок 3,4).

Возведены следующие конструкции объекта:

- фундаменты;
- колонны на 6 этажей (1+1+1+3);
- диафрагмы жесткости подвала, 1 и 2 этажей, частично 3-го этажа;
- конструкции перекрытия над подвалом, 1 и 2 этажами, частично над 3 этажом;
- кирпичные стены на 2 этажа;
- частично стеновые панели на 2 этажа;
- внутренние перегородки;
- лестничные марши и площадки на, 2 этажа;
- лифтовые шахты на 2 этажа.

Работы по устройству гидроизоляции и отводу воды, заполнений дверных и оконных проемов, полов, внутренней отделки помещений, монтажу систем инженерных коммуникаций – не выполнены.



Рисунок 3. – Общий вид обследуемого объекта по оси «Е»



Рисунок 4. – Общий вид обследуемого объекта по оси «А»

Проектная документация на обследуемое здание предоставлена Заказчиком в полном объеме.

Исполнительная документация на строительство объекта (паспорта на конструкции и материалы, акты на скрытые работы, журналы производства работ и т.д.) не сохранилась.

Акт о консервации строящегося объекта и акт приемки-передачи законсервированного объекта отсутствуют.

**Результаты и анализ натурального обследования.** *Междуэтажные перекрытия.* Основными несущими конструкциями междуэтажных перекрытий здания являются сборные железобетонные многопустотные плиты и ригели.

Сборные железобетонные многопустотные плиты соответствуют конструкциям, запроектированным по сериям 0-312 и 1.041.1-3. Плиты уложены на полки сборных железобетонных ригелей.

Основная масса плит имеют длину 5600 мм и два типоразмера по ширине – 1200 мм и 1500 мм.

На отдельных участках перекрытий уложены сборные железобетонные ребристые санитарно-технические плиты, имеющие проемы в полках под пропуск инженерных коммуникаций.

Для создания пространственной жесткости перекрытий между колоннами уложены связевые плиты, шириной 1500 мм. Между связевыми плитами уложены сборные железобетонные многопустотные пролетные плиты.

Жесткость дисков перекрытий кроме приварки связевых плит к закладным деталям ригелей и колонн, создается также замоноличиванием швов между элементами перекрытия.

В результате контрольных вскрытий установлено армирование конструкций. Встречается как стержневое (серия 1.041.1-3), так и канатное (серия 0-312) армирование плит.

Средняя прочность бетона многопустотных плит перекрытий по результатам экспертной оценки с методом неразрушающего контроля составляет 25.9...27.2 МПа, что соответствует классу С16/20.

Для опирания плит междуэтажных перекрытий здания уложены сборные железобетонные одно- и двухполочные ригели таврового сечения длиной 5560 мм и 6760 мм; высота – 450 мм.

Средняя прочность бетона ригелей по результатам экспертной оценки с методом неразрушающего контроля составляет 37.2...38.5 МПа (класс C25/30).

Двухполочные ригели – предварительно напряженные, армированные стержневой арматурой 4 $\Phi$ 20AtV (S800) - пролет 5560 мм и 4 $\Phi$ 22AtV (S800) - пролет 6760 мм.

К выявленным в ходе натурного обследования дефектам конструкций перекрытий следует отнести:

- недостаточный защитный слой бетона, оголение поперечной арматуры ригелей нижней и боковых поверхностей (рисунок 5);



Рисунок 5. – Оголение поперечной арматуры ригелей

- оголение арматурных сеток плит и их намокание вследствие отсутствия гидроизоляционного покрытия;

- отсутствие заделки стыков ригелей с колоннами;

- разрушение кирпичной кладки опорных зон плит перекрытия над 3 этажом.

При проведении обследования плит перекрытий и ригелей трещин, сверхнормативных прогибов и иных дефектов силового характера не выявлено. Качество монтажа сборных железобетонных плит и ригелей соответствует требованиям [4].

*Колонны и диафрагмы жесткости.* В здании смонтированы сборные железобетонные консольные колонны сечением 400 x400 мм. На момент обследования смонтированы колонны на 6 этажей: колонны подвала, 1 и 2 этажей имеют одноэтажную разрезку; колонны последующих этажей – трехэтажную. Все стыки между колоннами замоноличены и находятся в удовлетворительном техническом состоянии (рисунок 6).

Средняя прочность бетона колонн по результатам экспертной оценки с методом неразрушающего контроля составляет 31.8...33.2 МПа (класс C20/25).

Отклонения сборных железобетонных колонн от вертикали по результатам выборочного инструментального контроля составляет 4...6 мм, что не превышает установленных допусков согласно табл.6.2 [4].

Техническое состояние сборных железобетонных колонн оценивается как удовлетворительное, геометрические и прочностные характеристики конструкций соответствуют проекту.



Рисунок 6. – Стык сборных железобетонных многоэтажных колонн

Натурным обследованием с учетом изучения предоставленной проектной документации установлено соответствие монтажной схемы элементов железобетонного каркаса здания проектным решениям.

В ходе натурального обследования значительных дефектов и повреждений колонн, ограничивающих их дальнейшую эксплуатационную пригодность, не выявлено. Качество монтажа колонн соответствует требованиям [4].

В качестве вертикальных несущих элементов здания в осях «Г-Е/2-3»; «Г/4-5»; «Г-Е/6-8»; «Б-Е/10» и «Б-Е/15-16» установлены сборные железобетонные диафрагмы жесткости с проемами и без проемов по серии 1.020.1/83 в.4-1. Толщина диафрагм жесткости – 140 мм, средняя прочность бетона – 31.2...33.9 МПа (класс С20/25).

Стыки между диафрагмами жесткости подвала, 1 и 2-ого этажей замоноличены и находятся в удовлетворительном техническом состоянии.

К выявленным дефектам диафрагм жесткости следует отнести оголение поперечной арматуры полков.

*Наружные стены.* Наружные стены подвала здания выложены из сборных бетонных блоков ФБС толщиной 500 мм, в отдельных местах для восприятия распора устроены железобетонные шпонки.

Блоки уложены с перевязкой вертикальных швов в смежных рядах. Горизонтальные и вертикальные швы заполнены раствором полностью. Толщина швов составляет 18...22 мм. Местные заделки между блоками заделаны монолитным бетоном.

Средняя прочность бетона сборных бетонных фундаментных блоков по результатам экспертной оценки с методом неразрушающего контроля составила 26.3...27.5 МПа, что соответствует классу С16/20.

Наружные продольные и поперечные стены здания в осях «А-Е/1-2»; «А/2-10»; «А-Е/10»; «Б-И/15»; «Б/15Ь20» и «Б-И/21» выложены из керамического эффективного кирпича на цементно-песчаном растворе.

Система перевязки швов – трехрядная (чередование одного ряда тычкового через три ряда ложковых). Толщина растворных швов кладки составляет: горизонтальных – 12...16 мм; вертикальных – 10...18 мм. Расчетная толщина наружных стен составляет 510 мм.

В ходе натурального обследования армирования кирпичной кладки стен и простенков не обнаружено.

Над оконными и дверными проемами уложены сборные железобетонные перемычки сечением 120x120 мм и 120x220(h) мм. Глубина опирания перемычек составляет 150...250 мм.

Отмостка по периметру наружных стен здания отсутствует.

Наружными ограждающими конструкциями здания в осях «Е/2-15»; «Е/16-21» являются сборные железобетонные трехслойные стеновые панели пролетом 6000 мм. Толщина панелей – 300 мм.

Панели представляют собой трехслойную конструкцию, в которой между плоскими железобетонными слоями, соединенными между собой гибкими стальными связями расположен слой теплоизоляции из пенополистирола толщиной 150 мм.

Толщина внутреннего железобетонного слоя – 100 мм, наружного – 50 мм.

Стеновые панели закреплены к колоннам каркаса при помощи стальных соединительных элементов на сварке.

К выявленным в ходе натурного обследования дефектам наружных стен следует отнести:

- намокание и размораживание кирпичной кладки парапетных и подоконных участков наружных стен (рисунок 7);



**Рисунок 7. – Размораживание подоконных участков наружных стен**

- размораживание кирпичной кладки опорных зон плит перекрытия (рисунок 8);



**Рисунок 8. – Размораживание кладки опорных зон плит перекрытия**

- выкрашивание раствора из горизонтальных швов между панелями; некачественное заполнение швов пористыми уплотняющими прокладками, отсутствие герметизации устья шва герметизирующей мастикой;
- коррозия закладных деталей и элементов крепления стеновых панелей к колоннам каркаса.

**Фундаменты.** Для оценки фактических параметров и технического состояния фундаментов были выполнены работы по их обследованию в отрытых шурфах.

В результате натурного обследования фундаментов в отрытых шурфах установлено, что под колонны каркаса устроены фундаменты стаканного типа. Фундамент состоит из нижней монолитной железобетонной части, представляющей собой столбчатый 2-хступенчатый фундамент. Высота ступеней – 300 мм, размер в плане – 2700x2700 мм, либо 3000x3000 мм.

Сверху, на монолитную часть, установлены башмаки-подколонники стаканного типа высотой 900 мм. Размер подошвы башмака – 1200x1200 мм. Стыки между колоннами и стаканами фундамента полностью заделаны бетоном.

Глубина заложения фундаментов относительно уровня пола подвала составляет 1600...1700 мм.

Под кирпичные стены здания устроены ленточные фундаменты, состоящие из сборных бетонных фундаментных блоков (ФБС) и подушек (ФЛ). Глубина заложения фундамента относительно уровня пола подвала составляет 600 мм. Ширина подошвы фундамента – 800 мм.

Техническое состояние фундаментов здания оценивается как удовлетворительное. Конструкция фундаментов, геометрические размеры и прочностные характеристики соответствуют проекту.

**Заключение.** Обследованный объект в течение длительного периода времени (с 1994 года) находился в стадии незавершенного строительства без выполнения всех необходимых мероприятий по техническому обслуживанию и содержанию конструкций. За этот период конструкции подвергались различным видам физико-химических воздействий, источником которых являются осадки (дождь, туман, снег), солнечное облучение, ветровое давление, суточное колебание температуры и влажности воздуха. Это привело к развитию во времени дефектов различной степени значимости, подробно описанных в тексте отчета.

По результатам детального обследования конструкций были выполнены подробные ведомости дефектов с указанием их объемов, степени распространения и т.д. По каждому виду конструкций был определен физический износ с отнесением к соответствующей категории технического состояния согласно п.13.3.7 [1].

В соответствии с выявленными дефектами и повреждениями конструкций были выданы рекомендации по ремонту и усилению, а также выдано заключение о возможности надстройки дополнительных этажей (с учетом фактического состояния и несущей способности конструкций). Совместная работа с проектной организацией позволила качественно и в срок разработать проектно-сметную документацию, получить положительное заключение экспертизы и приступить к началу реконструкции объекта (рисунок 9).





**Рисунок 9. – Объект на стадии реконструкции (сентябрь 2015 года)**



**Рисунок 10. – Объект на стадии эксплуатации (2019 год)**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Здания и сооружения. Техническое состояние и обслуживание строительных конструкций и инженерных систем и оценка их пригодности к эксплуатации. Основные требования: ТКП 45-1.04-208-2010. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2010. – 107 с.
2. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений. Порядок проведения: ТКП 45-1.04-37-2008. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2008. – 39 с.
3. Здания и сооружения. Оценка степени физического износа: ТКП 45-1.04-119-2008. - Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2008. – 44 с.
4. Возведение строительных конструкций, зданий и сооружений. Основные требования: ТКП 45-1.03-314-2018. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2018. – 123 с.
5. Строительный проект. Поликлиника для размещения стоматологического факультета БелГИУВ по ул. Платонова в г. Минске (объект №5.89-01-АС). Госстрой БССР «БЕЛГОСПРОЕКТ», г. Минск, 1989.

УДК 624.014.2

**ОПЫТ УСИЛЕНИЯ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК БИМОМЕНТНЫМИ СВЯЗЯМИ****Е.Ю. Давыдов, К.В. Кононович**Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь  
e-mail: kononovichkv@gmail.com

*В статье рассматривается подкрановая балка, требующая усиления. Для обеспечения её общей устойчивости, предлагается усиление балки в виде бимоментных связей. Такой вид усиления увеличивает крутильную и секториальную жёсткость сечения, а также предотвращает развитие депланаций сечения. В статье приводятся теоретические предпосылки к использованию такого метода усиления, и приведены расчёты согласно действующих норм, с построением конечно-элементной модели.*

**Ключевые слова:** балка, кручение, бимомент, усиление, связи, крутильная жёсткость, устойчивость

**EXPERIENCE OF USING BIMOBENT STIFFENERS IN RUNWAY BEAM****E. Davydov, K. Kononovich**Belarusian National Technical University, Republic of Belarus  
e-mail: kononovichkv@gmail.com

*This article is focused on the runway beam which needs the reinforcement. To prevent beam from lateral buckling, the bimobent stiffeners a proposed. This type of reinforcement increase torsional and warping moments of inertia and prevent cross-section from warping. In article showed theoretical background of using this type of reinforcement, and demonstrated calculations of beam in accordance with actual codes, and FEM modeling.*

**Keywords:** beam, torsion, bimoment, reinforcement, stiffeners, torsional moment of inertia, lateral buckling

**Введение.** За всё время развития расчёта и конструирования металлических конструкций, наиболее распространение получили конструктивные схемы из открытых тонкостенных профилей. По сравнению со стержнями закрытого профиля, они обладают преимуществами ввиду простоты изготовления и эксплуатации. Поэтому чаще всего применяются стержни незамкнутого профиля из прокатных двутавров, швеллеров и т.д., как в отдельности, так и в виде сложных составных сечений.

Однако, недостатком тонкостенных открытых профилей, по сравнению с закрытыми, является их низкая сопротивляемость крутящим моментам.

**Усиление открытых профилей.** Достаточно очевидно, что разработка и обоснование какого-либо конструктивного или иного метода, который позволит сохранить преимущества стержней открытого профиля и придать им преимущества стержней закрытых профилей (значительное увеличение сопротивления кручению) представляет большую ценность. Впервые такие мероприятия были предложены автором теории расчёта упругих стержней, профессором В.З.Власовым в его монографии [3]. Метод

предложенный Власовым заключался в добавлении к стержням поперечных планок, закрепляющие продольные края от взаимного продольного смещения, тем самым значительно уменьшающие деформации поперечного сечения стержня при кручении. Так же в его монографии [3] был описан возможный метод расчёта тонкостенных стержней, усиленных планками.

В ЦНИПСе в 1993г профессором Д.В.Бычковым и кандидатом технических наук А.К.Мрощинским были проведены эксперименты, подтвердившие теорию Власова. Некоторые результаты этих экспериментальных исследований были представлены в [2].

Все перечисленные авторы в основном исследовали влияние бимоментных связей на сопротивление стержня кручению, а также влияние этих связей на возникновение напряжений от деформации сечения. Во всех исследованиях изучалась работа тонкостенных стержней с бимоментными связями при их работе на свободное кручение, стеснённое кручение или кручение с изгибом. Однако слабо освещённым остается вопрос о влиянии бимоментных связей на устойчивость тонкостенных открытых стержней при изгибе. По результатам исследований можно сделать вывод о значительном повышении крутильной жёсткости  $G I_k$ . Т.к. момент инерции стержня при свободном кручении имеет значительное влияние на устойчивость стержня при изгибе, можно сделать вывод о её повышении.

Так же остаются слабоизученными вопросы о влиянии бимоментных связей на изгибную жёсткость стержня, и местную устойчивость элементов сечения. Одним из недостатков упомянутых выше экспериментов является то, что испытания проводились на масштабных мелкогабаритных образцах, поэтому изучение поведения образцов выполненных в натуральную величину, так же представляет интерес.

Бимоментные связи могут использоваться для повышения крутильной жёсткости как при новом строительстве, так и при усилении уже существующих конструкций. Одним из примеров такого использования является разработанное авторами статьи усиление подкрановой балки сборочного цеха завода «Амкодор».

Согласно проведенному обследованию, прочность подкрановой балки была обеспечена, однако при проверке устойчивости, эти балки имели напряжения в 1.5 раза превышающие расчётное сопротивление. Основную часть из этих напряжений составляют напряжения от учёта потери устойчивости балки при изгибе использованием коэффициента  $\varphi_b$ :

$$\sigma = \frac{M_F}{\varphi_b W_x} + \frac{M_T}{W_y} = \frac{34882}{0.399 \cdot 3719} + \frac{1168}{242} = 32.126 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > R_y \frac{I_c}{I_n} = 25.26 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad (1)$$

Балка и её сечение изображены на рисунке 1.

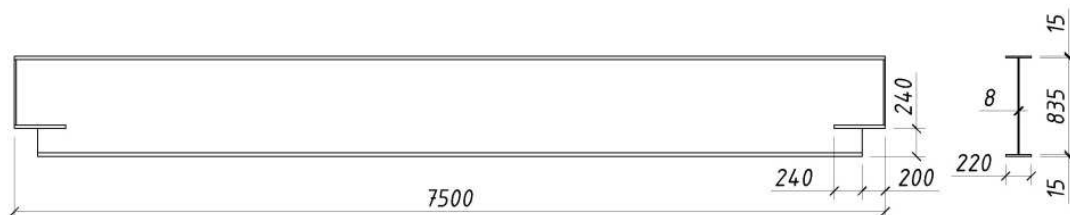


Рисунок 1. – Геометрические размеры усиленной балки

Сечение имеет следующие геометрические характеристики:  $I_x=158\,037\text{ см}^4$ ,  $I_y=2\,665\text{ см}^4$ ,  $I_k=82,87\text{ см}^4$ ,  $W_x=3\,718\text{ см}^3$ ,  $W_y=242\text{ см}^4$ .

Для обеспечения общей устойчивости авторами было предложено усиление бимоментными связями в виде раскосов, что должно было повысить жёсткость стержня при свободном кручении. Предлагаемое усиление представляет собой решётку из уголков 50x5, выполненных из стали С235, приваренных к полкам балки с одной стороны. Предложенный метод усиления обусловлен тем, что рядом с балкой возведены стены, что мешает размещению дополнительных конструкций, раскрепляющих балку из плоскости её работы, а также каких-либо других конструкций, повышающих её устойчивость. Предлагаемое усиление располагается со стороны, к которой есть доступ для производства работ, и не препятствует технологическому процессу. Схема усиления представлена на рисунке 2.

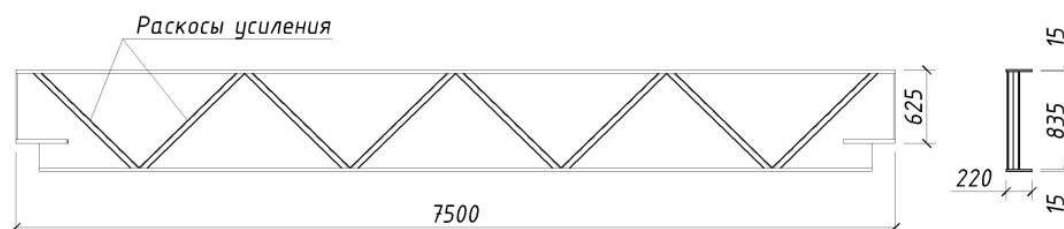


Рисунок 2. – Схема усиления балки

Для аналитического изучения, были построены три модели подкрановой балки в программе ANSYS.

Первая модель представляла собой балку постоянного сечения без изменения высоты сечения на опоре, а также без рёбер жёсткости. Данная модель была необходима для сопоставления результатов моделирования с теоретическими результатами вычисления крутильной жёсткости по формуле:

$$I_k = \frac{\alpha}{3} \sum (t_i^3 b_i) \quad (2)$$

где:

$\alpha$  - коэффициент зависящий от вида сечения (для двутавров обычно принимается  $\alpha = 1,3$ )

$t_i, b_i$  - толщина и ширина пластин, из которых состоит сечение соответственно.

Вторая модель была выполнена по чертежам подкрановой балки без усиления.

Третья модель выполнялась с усилением в виде раскосов. Ко всем моделям прикладывались противоположно направленные крутящие моменты по концам балки в  $M_k=200\text{ Нм}$ . Моменты создавались парой сил, приложенных к верхнему и нижнему поясу. Для создания свободного кручения в торцах балок по середине высоты сечения моделировались выступающие участки стенки размерами 2x2 см, на нижние ребра которых накладывались ограничения перемещения по 3 осям. Такое закрепление не ограничивает деформации сечений, а также позволяет точно обозначить центр кручения. Материал балок задавался как сталь С235 с модулем упругости  $E=206\text{ ГПа}$  и модулем сдвига  $G=76,9\text{ ГПа}$ .

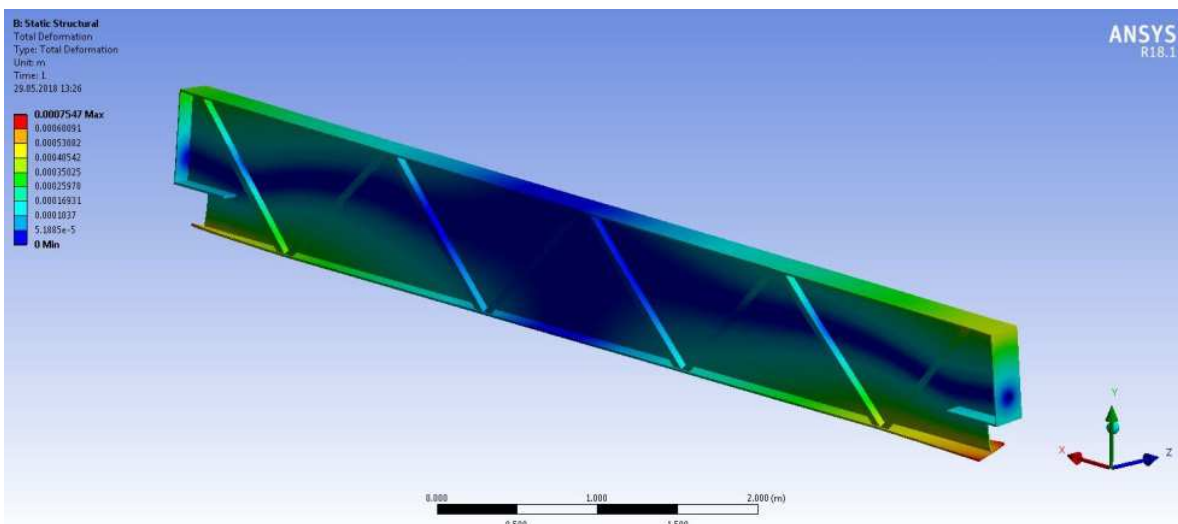


Рисунок 3. – Модель балки с усилением

После расчёта моделей определялся угол поворота сечения, и вычислялся момент инерции при свободном кручении по формуле:

$$I_K = \frac{M_K}{\varphi \theta} \tag{3}$$

По результатам вычислений момента инерции при кручении была для всех моделей была составлена таблица 1.

Таблица 1. – Результаты конечно-элементного моделирования

Модель	Угол поворота сечения, рад.	Относительный угол закручивания, рад.	Момент инерции при свободном кручении, см <sup>4</sup>	Отношение полученного момента инерции к расчетному $I_K/I_K^{теор}$
Балка	0.0212	0.002826	92.01	1.11
Балка без усиления	0.0153	0.002035	127.79	1.54
Балка с усилением	0.0028	0.00037	702.84	8.48

Отношение полученного по первой модели момента инерции к вычисленному теоритически составляет 1,11. В исследованиях Д.В.Бычкова и А.К.Мрощинского указано, что коэффициент для двутавров  $\alpha = 1,3$  принят усреднённым и имеет значения в пределах от 1,1 до 1,5. Экспериментальные исследования показали, что для двутавров с высотой сечения больше 500мм коэффициент  $\alpha$  принимает значения близкие к 1,5 [2]. Учёт этого факта объясняет расхождение между результатами, полученными в модели с теоретическими в 11%. Поэтому, с достаточной уверенностью можно сказать о правильности моделирования балки и точности определения момента инерции при кручении для всех моделей, т.к. они имеют одинаковые условия закрепления и нагружения.

Используя полученные из модели балки с усилением данные о повышении момента инерции при кручении в 8,5 раз, можно сделать заключение о повышении её устойчивости по формуле:

$$\alpha = 1,54 \frac{I_x}{I_y} \left( \frac{l_{ef}}{h} \right)^2 = 1,54 \frac{702,84}{2665} \left( \frac{7500}{865} \right)^2 = 30,49 \quad (4)$$

$$\psi = 1,75 + 0,09 \cdot \alpha = 1,75 + 0,09 \cdot 30,49 = 4,49 \quad (5)$$

$$\varphi_b = \psi \frac{I_x}{I_y} \left( \frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \frac{E}{R_y} = 0,865 \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{M_P}{\varphi_b \cdot W_x} + \frac{M_T}{W_y} = \frac{34882}{0,865 \cdot 3718} + \frac{1168}{242} = 15,65 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 25,26 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad (7)$$

Представленные вычисления подтверждают теоретические предпосылки и доказывают эффективность принятого метода усиления.

**Заключение.** Исследования, проведенные в этой области показывают, что бимоментные связи повышают крутильную жёсткость, что позволяет открытым профилям лучше сопротивляться закручивающим нагрузкам. Однако, так же они повышают и устойчивость стержней при изгибе, что было показано в данной работе. Поэтому очевидно, что изучение этого вопроса, а также создание рекомендаций и методики расчёта, может оказать влияние на развитие как конструктивных методов усиления существующих конструкций, так и на создание новых конструктивных форм. Авторами были сделаны первые шаги в этом направлении, однако вопрос нуждается в дальнейшем углубленном изучении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков, Д.В. Структура механических стержневых тонкостенных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1962. – 475 с.
2. Бычков, Д.В. Кручение металлических балок / Д.В. Бычков, А.К. Мрощинский. – М.: Государственное издательство строительной литературы, 1944. – 260 с.
3. Власов, В.З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Гос. издательство физико-математической литературы, 1959. – 568 с.
4. Стальные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-23-81\*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 2008 г. – 89 с.

УДК 694.143

## АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ АРОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

**А.И. Згировский, С.М. Коледа**

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: aleksander52@tut.by

*В данной статье произведен сравнительный анализ очертаний большепролетных арочных конструкций из клееной древесины с учетом напряженно-деформированного состояния, стоимости строительно-монтажных работ и расходов на транспортировку конструкций. Представлены результаты сравнения арочных конструкций различного очертания запроектированного склада для хранения калийных удобрений. За счет использования рационального очертания арок можно снизить расход древесины и стоимость арочных конструкций.*

**Ключевые слова:** клееная древесина, большепролетные арки, проектирование, склад удобрений, рациональное очертание арок, снижение стоимости

## ANALYSIS OF THE RATIONAL DESIGN OF LARGE-SPAN ARCH COVERINGS

**A. Zgirovsky, S. Coleda**

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

e-mail: aleksander52@tut.by

*This article provides a comparative analysis of the outlines of large-span arched structures made of glued timber, taking into account the stress-strain state, the cost of construction and installation work and the cost of transportation of structures. The results of comparing arched structures of various shapes of the designed warehouse for storing potash fertilizers are presented. Through the use of a rational outline of arches, wood consumption and the cost of arched structures can be reduced.*

**Keywords:** glued timber, wide-span arches, design, fertilizer warehouse, rational outline of arches, cost reduction

Для Республики Беларусь одним из основных источников валютных поступлений остается экспорт калийных удобрений. В последние годы прослеживается динамика роста цен на калийные удобрения, как и роста на их предложение. Если рассматривать наращивание мощностей в области производства калийных удобрений на перспективу на территории СНГ следует иметь в виду залежи Гремячинского, Непского и Эльтонского (Российская Федерация), Гарлыкского (Туркменистан) и других месторождений. Производство калийных удобрений в Республике Беларусь находится примерно на уровне 10 млн. т в год. Такой объем хлорида калия обеспечивает в основном ОАО «Беларуськалий». Планируется увеличить объем производства калийных удобре-

ний в Республике Беларусь за счет возведения Петриковского горно-обогатительного комбината и Нежинского горно-обогатительного комбината в Любанском районе Минской области. Следует отметить, что Петриковский ГОК является самым масштабным инвестиционным проектом ОАО «Беларуськалий». Проект предполагает строительство рудника и сильвинитовой обогатительно фабрики. Сдача в эксплуатацию первой очереди комбината предполагается в конце 2019 года. Планируется, что к 2025 году мощность Петриковского ГОК вырастет до 3 млн. в год. Мощность Нежинского предприятия по добыче калийной руды и по производству калийных удобрений немного меньше и составит 2 млн. в год. Возведение высокотехнологического объекта осуществляет ИООО «Славкалий» с участием китайской генподрядной компании «China State Energy Engineering Corp.Ltd».

Для хранения калийных удобрений традиционно используют большепролетные клееные деревянные арки двух типов по форме очертания: стрельчатые трехшарнирные и треугольные. Пролет складов для хранения солей обычно составляет от 18 м до 45 м. На Солигорских горно-обогатительных комбинатах, а также в Березниках, Соликамске, традиционно используются арки стрельчатого очертания пролетом 45 м. Арки стрельчатого очертания пролетом 45 м образуются из двух полуарок длиной около 34 м. В последнее время широко применяются также арки треугольного очертания (Красносельское РУ, Петриковский ГОК, Гарлык ГОК) пролетом 45 м, которые образуются из двух прямолинейных балок длиной по 30 м. В последнее время наблюдается тенденция к увеличению пролета складов для хранения калийных удобрений. Это связано с современными требованиями по условиям хранения и технологии складов калийных удобрений.

Однако применения большепролетных арок не всегда возможно, что объясняется трудностью их изготовления и транспортировки. Клееные арки являются конструкциями заводского изготовления, и многое зависит от технологических возможностей для склеивания длинномерных изделий, т.е. от длины прессы. Чем длиннее пресс, тем более гибким будет технологический процесс на этом производственном участке. Кроме того, на современных прессах, возможно, выполнить склеивание изделий различного очертания и конфигурации. Большинство прессов, используемых для склеивания большепролетных конструкций, имеют длину в пределах 18-30 м, пресса длиной более 30 м встречаются реже. Например, стапель ЗАО «Солигорского института проблем ресурсосбережения с опытным производством» в г. Солигорске позволяет склеивать деревянные конструкции длиной до 38 м.

В зависимости от назначения сооружения, технологических процессов и архитектурных требований, арки проектируют различного очертаний по форме оси. Диапазон очертаний арок довольно широк. Наиболее распространенными являются арки кругового очертания и стрельчатые арки, треугольного очертания из прямолинейных элементов. Встречаются арки эллиптического, параболического и гиперболического очертаний, а также арки из криволинейных элементов, арки ломаного очертания и арки из двух элементов различных радиусов. Арки разделяют по статической схеме на трехшарнирные и двухшарнирные.



При проектировании возникает вопрос о рациональном очертании арочных конструкций. Арки являются одним из наиболее эффективных типов несущих конструкций, как с экономической, так и с эстетической точки зрения. Клееодощатые арки в большинстве случаев проектируют прямоугольного постоянного сечения по длине пролёта, независимо от формы её очертания. Стрельчатые клееодощатые арки более трудоемкие в изготовлении по сравнению с арками треугольного очертания из прямолинейных элементов.

Рациональное очертание арки, когда кривая давления от внешней нагрузки совпадает с её осью. К рациональному очертанию можно приблизиться только при постоянной нагрузке. При равномерно-распределённой нагрузке рациональная дуга арки имеет параболическое очертание. На практике такие ситуации не встречаются. Обычно приходится учитывать совокупность различных по характеру нагрузок [2-5, 8].

Треугольные арки, образованные из двух прямолинейных балочных элементов, наиболее просты и экономичны по сравнению с арками стрельчатого очертания. Обычно арки треугольного очертания выполняются с расцентровкой в опорном и карнизном узлах, что позволяет уменьшить пролетный изгибающий момент от вертикальных нагрузок. Соответственно размеры поперечного сечения балочных элементов получаются минимальными за счет обратного момента от эксцентриситета продольных сил. Однако такой способ возможен только при наличии равномерно распределенной нагрузки. При наличии дополнительных сосредоточенных нагрузок, например, от тельферов, подвесок, галерей, которыми оборудованы склады минеральных удобрений, эффект от расцентровки не проявляется.

В последних разработках арочных покрытий, например, в складах готового продукта Гремячинского ГОК, применили полуарки в двухпролетном здании шатрового типа (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Общий вид склада готового продукта Гремячинского ГОК**

Ширина этого склада составляет 100 м, два пролета по 50 м. Основные несущие конструкции – двухшарнирные гнутоклееные полуарки с шагом 6 метров с опорами на разных уровнях. Применение таких полуарок принято в первую очередь в зависимости от назначения сооружения для складирования продукции. Изготовить и транспортировать такие длинномерные полуарки весьма проблематично, поэтому полуарки расчленили на три отправочных элемента заводского изготовления, а уже на строительной площадке объединили в единый элемент на сварке при помощи вклеенных стержней [6, 7]. Полуарка состоит из трех частей: нижней опорной криволинейной зоны, среднего прямолинейного участка, верхней криволинейной зоны. Однако очертание такой полуарки не является рациональным. Скорее всего, подобное очертание вызвано как условиями технологии складирования продукта, транспортировки клееных деревянных элементов, так и возможностью изготовления (ограничение возможности стапеля для склеивания деревянных изделий).

В республике Беларусь в Любанском районе для Нежинского ГОК под склад готовой продукции запроектировано однопролетное здание шатрового типа (рисунок 2). Основные несущие конструкции – трехшарнирные гнутоклееные арки пролетом 72 м с опорами в одном уровне. Высота склада в коньке около 30 м. При изготовлении таких арок предполагается собирать полуарки из двух элементов с устройством одного жесткого стыка на вклеенных стержнях. Полуарка состоит из двух частей: нижней опорной криволинейной зоны и верхнего клюшкообразного участка. По конфигурации полуарки как склада готового продукта Гремячинского ГОК, так и склада Нежинского ГОК также имеют средний прямолинейный участок. В обоих случаях склады оборудованы полуportальными кратцер-кранами. В обоих складах имеется центральная подпорная стена, на которую опираются кратцер-краны. На складе Гремячинского ГОК подпорная стена кроме того является опорой для двухшарнирных полуарок. На складе Нежинского ГОК подпорная стена служит только опорой для кратцер-кранов и нагрузка от покрытия на неё не передается.

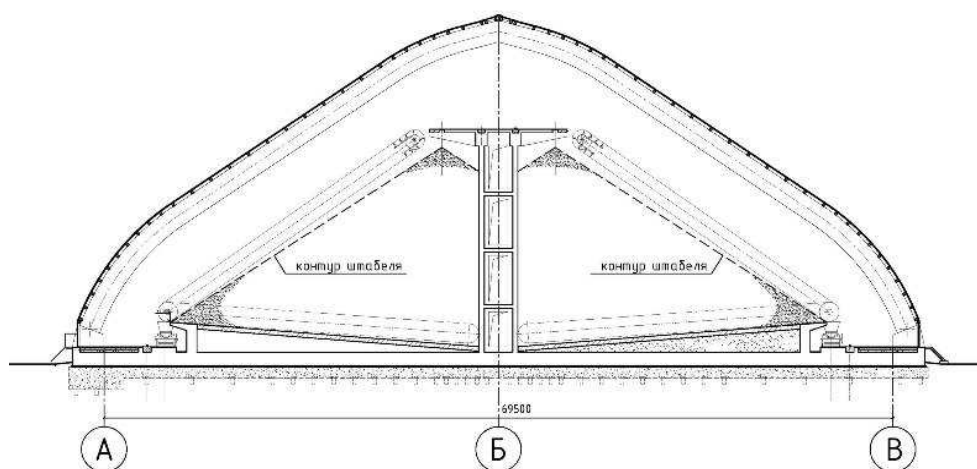


Рисунок 2. – Разрез склада готовой продукции Нежинского ГОК без кратцер-крана

При строительстве таких масштабных инвестиционных проектов необходимо уделять пристальное внимание рациональной форме арочных конструкций.

Анализ арок различного очертания проведем на примере арок покрытия запроектированного склада Нежинского ГОК. Всего рассматривалось 4 типа арок:

- 1) базовый – с центральным прямолинейным участком (рисунки 2 и 3);
- 2) с нижним криволинейным участком на высоту 1/3 от высоты арки и прямолинейным участком от изгиба до конька (рисунок 4);
- 3) полуарки, образованные сопрягающимися радиусами 20,9 м и 65,9 м (рисунок 5);
- 4) арки, составленные из двух полуарок кругового очертания с постоянным радиусом 50,9 м (рисунок 6).

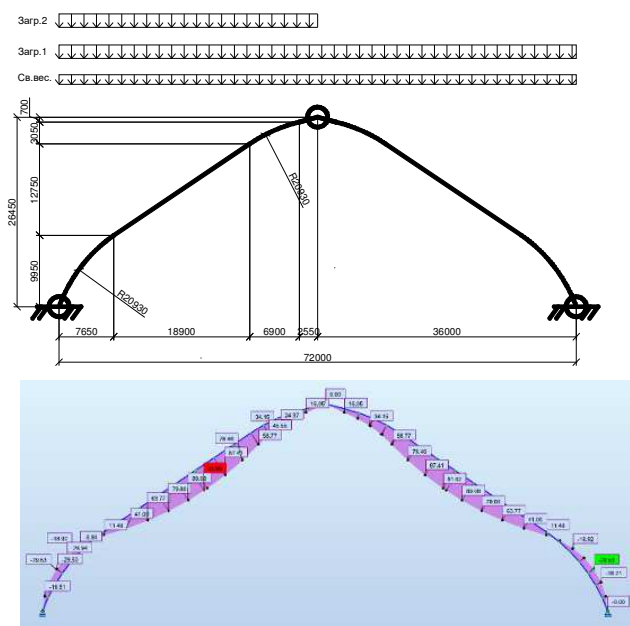


Рисунок 3. – Арка тип 1 – центральный прямолинейный участок

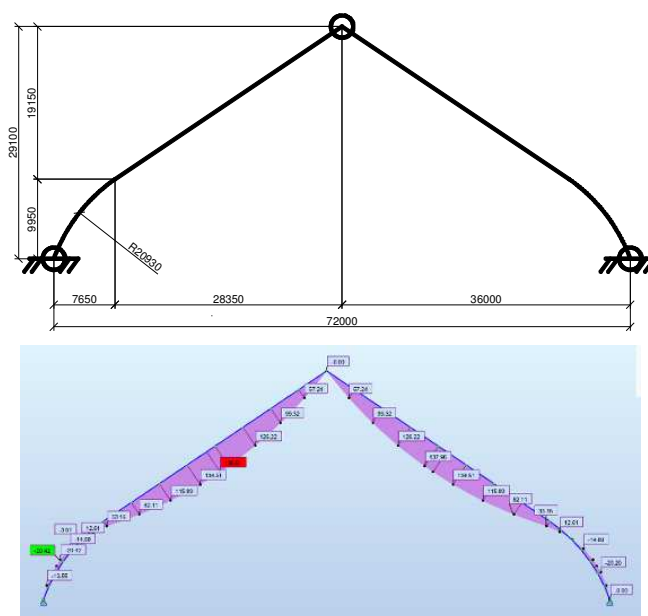


Рисунок 4. – Арка тип 2 – нижний гнутый карниз и прямолинейный до конька

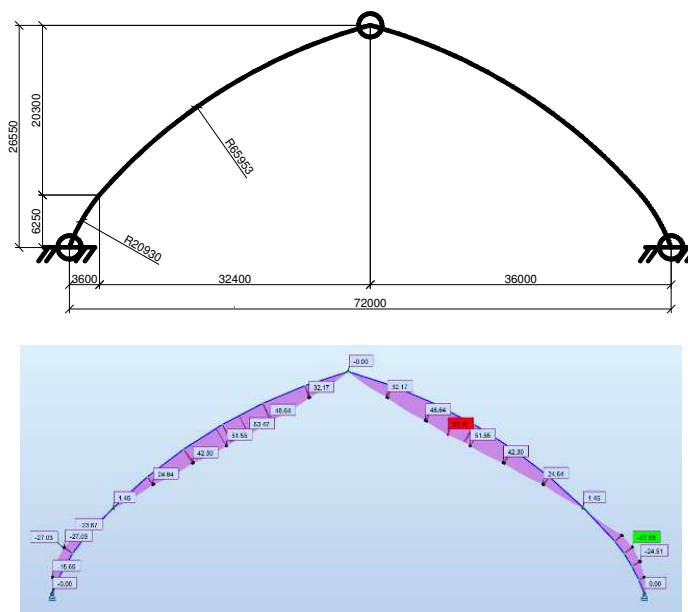


Рисунок 5. – Арка тип 3 – арки имеют участки с различными радиусами

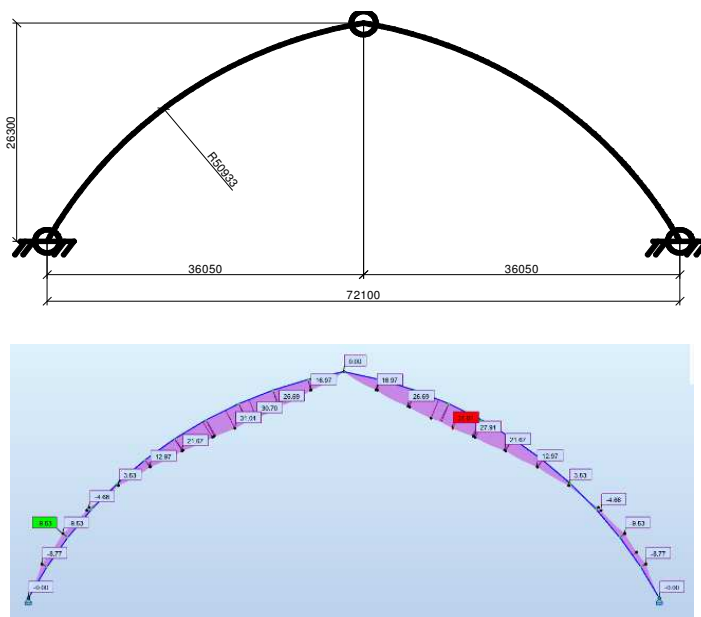


Рисунок 6. – Арка тип 4 – арки, составленные из двух полуарок рогового очертания с постоянным радиусом 50,9 м

Координаты опорных шарниров и конька во всех случаях оставались постоянными. Все арки описывали (закрывали) контур рабочей зоны кратцер-крана. Для предварительной оценки конструктивных схем численные расчеты выполнялись в линейной постановке от единичной равномерно распределенной нагрузки. Конечно, такой подход учитывает не весь спектр возможных нагрузок, которые может воспринимать конструкция, поэтому существует необходимость дальнейшего изучения этой проблемы.

Представленные расчеты показывают, что из рассмотренных типов арок наиболее оптимальным будет вариант для полуарок кругового очертания (см. рисунок 6). Анализируя данные, приведенные в таблице 1 можно видеть, что если продольная сила в целом изменяется незначительно, то существенное изменение изгибающего момента, приводит к увеличению поперечного сечения арок, и к расходу дорогостоящей клееной древесины, и соответственно к увеличению стоимости.

Таблица 1 – Сравнение результатов численных исследований

№	Тип арки	M, кНм	N, кН	$\sigma$ , МПа	Сечение, см	Площадь, см <sup>2</sup>	Отношение
1	Тип 1	1085	422	12,29	20x180	3600	1,63
2	Тип 2	1635	408	12,65	20x210	4200	1,9
3	Тип3	633	384	12,29	20x140	2800	1.27
4	Тип 4	365	388	12,35	20x110	2200	1

Анализ предварительных расчетов показал, что только за счет использования рационального очертания арок, можно снизить расход древесины и соответственно стоимость арочных конструкций на 30-40%.

Рассматривая реальные расходы на стоимость деревянных арок при строительстве складов калийных удобрений, установлено, что в общей стоимости СМР на арочные деревянные конструкции приходится до 80% от всей стоимости складских сооружений, а на железобетонные стены и фундаменты приходится порядка 20%. Таким образом, возможно существенное снижение стоимости при возведении складских сооружений, исключительно за счет снижения расходов на арочные конструкции, что достигается за счет проектирования рационального очертания арок.

Дополнительного снижения нагрузок на арки (до 20%), уменьшения продольной силы, изгибающего момента, а в конечном итоге к снижению расхода дорогостоящей клееной древесины, возможно за счет отказа двойного перекрестного деревянного настила путем перехода на светопрозрачные полимерные настилы.

Учитывая существенные расходы на транспортировку арочных конструкций от места изготовления до монтажа (логистика, объездные дороги, сопровождение ГАИ, погрузо-разгрузочные работы и т.д.), необходимо рассмотреть возможность изготовления длиномерных арочных конструкций непосредственно в зоне монтажа арочных конструкций. В этом случае можно отказаться от дорогостоящих монтажных стыков на клееных стержнях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009 (02250). – Мн.: 2010 – 63 с.
2. Згировский, А.И., Коледа, С.М. О некоторых особенностях проектирования большепролетных арочных деревянных конструкций // Проблемы современного строительства: Материалы Международной научно-технической конференции. – Мн.: 2019. – С. 66-73.
3. Калугин, А.В. Деревянные конструкции. Учебное пособие. – М.: Изд. АСВ, 2008. – 288 с.

4. Кормаков, Л. И., Валентиавичюс, А.Ю. Проектирование клееных деревянных конструкций / Л.И.Кормаков, А.Ю. Валентиавичюс. – К.: Будивельник, 1983. – 152 с.
5. Серов, Е.Н., Санников, Ю.Д., Серов, А.Е. Проектирование деревянных конструкций / Е.Н.Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 536 с.
6. Турковский, С.Б., Погорельцев, А.А., Преображенская, И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). – М.: РИФ «Стройматериалы», 2013. – 308 с.
7. Турковский, С.Б., Саяпин, В.В. Исследование монтажных узловых соединений клеёных деревянных конструкций // Несущие деревянные конструкции: Сборник научных трудов / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1981. – С. 92-105.
8. Щербина, В.А., Артебякина, Г.И., Мамутов, Ф.А. Рациональная форма лёгких арочных конструкций // Молодой ученый. – 2016. – №26. – С. 101-105.

УДК 624.426.5

**УЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕСОВЕРШЕНСТВ  
В КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОМ ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ABAQUS  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЕРИФИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОНКОСТЕННЫХ БАЛОК  
НА ДЕЙСТВИЕ ЛОКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

**В.В. Надольский, Ф.А. Верёвка**

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь  
e-mail: nadolskivv@mail.ru, verevka.fedor@mail.ru

*Представлен один из способов учета эквивалентных геометрических несовершенств при проведении верификационных исследований напряженно-деформированного состояния пластинчатых элементов согласно ТКП EN 1993-1-5 [1] при действии локальной нагрузки на примере тонкостенной двутавровой балки. Приведены экспериментальные данные, описана процедура проведения испытаний и представлена схема разработки конечноэлементной модели исследуемой балки с учетом физической и геометрической нелинейности.*

**Ключевые слова:** несовершенства, конечноэлементная модель, локальная нагрузка, тонкостенные элементы, верификационные исследования, ABAQUS

**ACCOUNTING OF EQUIVALENT GEOMETRIC IMPERFECTIONS  
IN THE ABAQUS SOFTWARE IN VERIFICATION STUDIES OF THIN-WALLED BEAMS  
ON THE ACTION OF TRANSVERSE FORCES (LOCAL LOAD)**

**V. Nadolski, F. Viarouka**

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus  
e-mail: nadolskivv@mail.ru, verevka.fedor@mail.ru

*The article presents one of the methods for accounting equivalent geometric imperfections during verification studies of the stress-strain state of plate elements according to provisions of EN 1993-1-5 [1] under the action of a transverse force (local load) on a thin-walled I-beam. Experimental data are presented, the test procedure is described, and a scheme of development of the finite element model of a thin-walled I-beam accounting material and geometric nonlinearity is presented.*

**Keywords:** imperfections, finite element model, transverse force (local load), thin-walled elements, verification studies, ABAQUS

**Введение.** В современном проектировании зданий и сооружений широкое применение находят стальные тонкостенные конструкции в виде балок. Часто эти балки работают в условиях локального (местного) нагружения. В этом случае возникает вопрос об обеспечении местной устойчивости при расчете и проектировании подобных конструкций.

Анализ зарубежных работ показывает, что в большинстве стран мира основной акцент сделан на развитие механических моделей сопротивления локальным нагрузкам [1-4]. Модели сопротивления локальным нагрузкам, принятые в различных нормативных документах, существенно отличаются, что говорит и о различиях при оценке несущей способности таких конструкций [1, 2, 5]. Ввиду этого, методики, принятые в нормативных документах, требуют дальнейшего исследования и уточнения.

При сопротивлении элементов местной потере устойчивости при действии локальной нагрузки теоретически и экспериментально подтверждена возможность использования резерва несущей способности за счет закритической стадии работы отсека [3, 4, 6-8]. Однако так как количество экспериментальных данных очень ограничено, а аналитическое решение данной задачи является достаточно трудоемким, моделирование стального элемента при помощи программных комплексов позволит оценить значения сопротивлений локальным нагрузкам в закритической стадии работы отсека.

Использование метода конечных элементов при решении научных и инженерных задач является достаточно распространенным явлением, однако применение того или иного конечноэлементного программного комплекса требует соответствующего обоснования, которое может быть получено лишь при проведении соответствующих верификационных исследований. Суть подобных верификационных исследований заключается в объективном сопоставлении данных натурных экспериментов с результатами моделирования при выполнении четко определенных операций по построению модели.

При расчете конструкций с применением МКЭ важным пунктом является учет несовершенств, которые могут значительно влиять на несущую способность конструкции. Существует три основных способа задания несовершенств при расчете с помощью МКЭ:

- задание реальных несовершенств, полученных с помощью обмеров конкретной конструкции. Этот способ используется при исследованиях, связанных с поиском лучшего способа задания несовершенств;
- задание наихудшей возможной формы распределения несовершенств. Как правило, при таком способе задания несовершенств используется первая форма потери устойчивости или комбинация различных форм потери устойчивости. Однако, в некоторых случаях реальные дефекты или возможные формы конструкции могут оказывать большее влияние, чем несовершенства, принятые по первой форме потери устойчивости;
- использование эквивалентных геометрических несовершенств, что является самым простым с точки зрения реализации при использовании метода конечных элементов. На практике амплитуды, с которыми задается несовершенство, должны быть откалиброваны в зависимости от вида отказа.

Согласно приложению С5 [1] при расчетах с помощью МКЭ должны быть учтены как геометрические, так и структурные несовершенства.

Обычно упрощенно считается, что стальные балки состоят из прямолинейных пластин, но фактически они имеют геометрические несовершенства и остаточные напряжения.

В настоящее время геометрические несовершенства могут быть измерены с помощью оптических приборов. Что касается остаточных напряжений, они носят



изменчивый характер и их измерение, по крайней мере, достаточно достоверное, можно получить только при разрушающих испытаниях.

При невозможности учета в расчетах точного учета геометрические и структурные несовершенства, допускается использовать эквивалентные геометрические несовершенства. Направление несовершенства следует применять с целью достижения минимального сопротивления [1].

В настоящей статье представлен один из способов учета эквивалентных геометрических несовершенств при проведении исследования напряженно-деформированного состояния пластинчатых элементов согласно ТКП EN 1993-1-5 [1] при действии локальной нагрузки.

**Геометрические несовершенства.** В соответствии с приложением С [1] геометрические несовершенства допускается применять в форме, соответствующей потере устойчивости пластины в критической стадии с значением выгиба – 80% от геометрических допусков при изготовлении.

При этом допуск на отклонение от плоскостности (от вертикальной плоскости) согласно СТБ EN 1090-2 [9] ограничиваются минимальным значением из следующих значений:

- $t_w$  – толщина стенки
- $h_w/100$ , где  $h_w$  – высота стенки в свету

Характер потери устойчивости и критические силы потери устойчивости получают при анализе на устойчивость. Линейный анализ устойчивости направлен на вычислении силы, при которой стержень переходит из одного положения равновесия в другое.

**Структурные несовершенства.** Согласно примечанию 2 приложению С5 (1) [1]: «структурные несовершенства, вызванные остаточными напряжениями, допускается представлять в виде напряжений с значения, равными средним (предполагаемым) значениям».

Однако в ТКП EN нет никаких конкретных указаний по учету структурных несовершенств. В основном структурные несовершенства связаны с остаточными напряжениями, появляющимися в процессе производства. Согласно ECCS [10] двумя основными причинами появления остаточных напряжений являются газовая резка листов и продольная сварка стенки и полок.

Остаточные растягивающие напряжения являются равными пределу текучести пластины и появляются в пределах ширины зоны, подверженной разогреву, при этом в окружающем ее металле появляются самоуравновешивающие напряжения сжатия. В целом, амплитуда и распределение остаточных напряжений зависит от способа изготовления, формы поперечного сечения и толщины стенки.

Главным образом остаточные напряжения влияют на сопротивления в случае потери устойчивости, а также при усталостном или хрупком разрушении.

При этом нет необходимости представлять реальную эпюру остаточных напряжений при моделировании. Хорошая сходимость наблюдается при использовании упрощенных эпюр распределения остаточных напряжений.

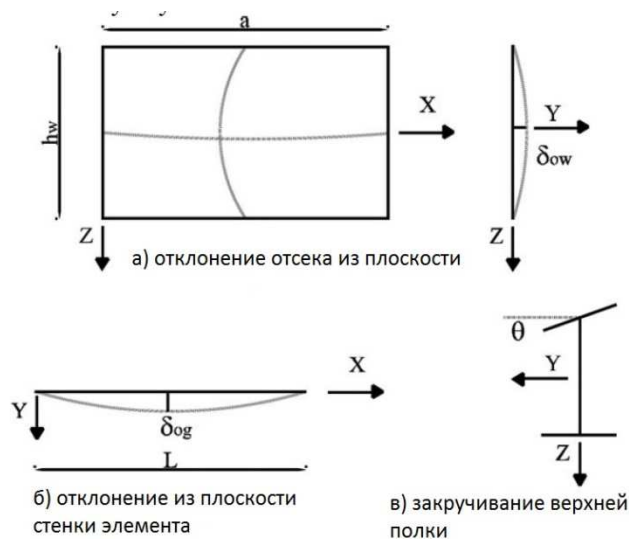
**Эквивалентные геометрические несовершенства.** Согласно [1] в случае невозможности учесть в расчетах более точно геометрические и структурные несовершенства, допускается использовать эквивалентные геометрические несовершенства. Несовершенства могут иметь как локальный, так и глобальный характер. Несовершенства можно комбинировать. При этом выбирается основное определяющее несовершенство и сопровождающие несовершенства, которые могут иметь значения, уменьшенные до 70%. Однако в нормативной документации не дано никаких конкретных рекомендаций по выбору типов несовершенств.

Для балок основными эквивалентными геометрическими несовершенствами являются:

- отклонение стенки отсека из плоскости  $\delta_{ow}$ , принятое по размерам отсека (обусловленное несовершенствами отдельного отсека) (рисунок 1, а). Несовершенство носит локальный характер в пределах отсека. В соответствии с приложением С [1] максимальное отклонение отсека из плоскости – наименьшее из значений  $\min(a/200, h_w/200)$ ;

- отклонение стенки элемента из плоскости  $\delta_{og}$  (обусловленное несовершенствами элемента в целом в продольном направлении) (рисунок 1 б). Расчетное значение принимается согласно [11] и зависит от кривой потери устойчивости, которая в свою очередь зависит от вида, размеров сечения и оси, относительно которой предполагается потеря устойчивости;

- начальное закручивание верхней полки или элемента жесткости (рисунок 1, в). Значение угла закручивания согласно [1] принимается равной  $1/50$  рад.



**Рисунок 1.** – Эквивалентные геометрические несовершенства сварной балки

**База экспериментальных данных.** Для оценки погрешности моделей сопротивления стальных балок локальному воздействию использовались экспериментальные данные, выполненные в Политехническом университете Каталонии (School of Civil Engineering, Polytechnic University of Catalonia) в Барселоне, Испания [6].

Ниже описаны основные особенности испытываемых образцов и процедура проведения испытания. Для краткости из всей экспериментальной программы представлены только необходимые результаты.

**Геометрия.** Эксперимент проводился на двух сериях образцов по 4 балки в каждой. Основным различием между двумя сериями являлся предел текучести стальных прокатных листов, из которых состоит балка. В каждой из серий варьировался только один параметр – расстояние между ребрами жесткости. Нагружение балки производилось в центре средней панели. Длина этой панели обозначена как расстояние между поперечными ребрами жесткости, длина смежных панелей. Длина балки – 2700 мм, расстояние между опорами – 2500 мм. Сечение балки – сварной двутавр. Сечение поясов – 200x20 мм, сечение стенки – 500x4 мм, ребра жесткости имеют толщину 20 мм. Общий вид балок представлен на рисунке 2. Геометрические параметры испытываемых балок представлены в таблице 1.

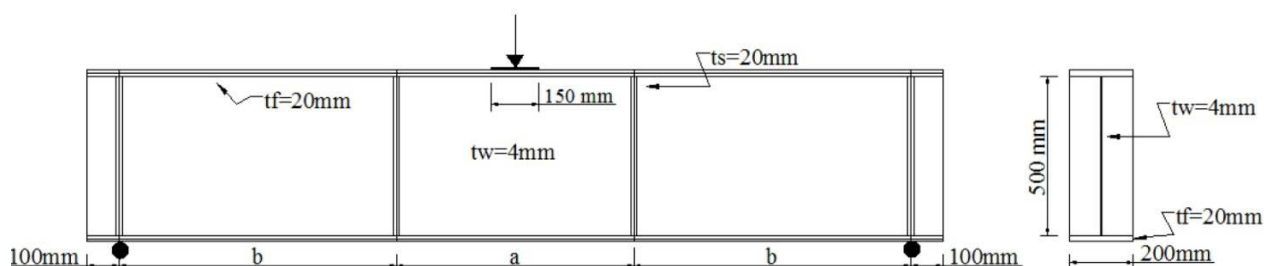


Рисунок 2. – Схема испытанных балок

Таблица 1. – Основные геометрические параметры испытываемых балок

Серия	Балка	Длина, мм	a, мм	b, мм	h <sub>w</sub> , мм
1/2VPL	1VPL2500	2700	2500	0	500
	1VPL1500	2700	1500	500	500
	1VPL750	2700	750	585	500
	1VPL450	2700	450	1025	500

**Материалы.** Для определения зависимости между напряжениями и деформациями были проведены испытания образцов на растяжение. Образцы были вырезаны из наименее нагруженной части балок после испытания. Для изготовления балок было использовано 6 разных типов стальных листов, по три в каждой серии. В таблице 2 показаны механические свойства, полученные для каждого из листов, использующихся в стальных балках 1-й серии (1VPL)

Таблица 2. – Механические свойства стали для каждого элемента балок

Серия	Пластина	Ширина, мм	Толщина, мм	Предел текучести f <sub>y</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности f <sub>u</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	f <sub>u</sub> / f <sub>y</sub>
1VPL	Стенка	14.78	4.10	325	443	1.36
	Полка	30.32	20.65	454	595	1.31
	Ребро жесткости	30.05	19.90	310	464	1.50

**Процедура проведения испытаний.** Балки испытывались как шарнирно опертые под статической нагрузкой, постепенно возрастающей до потери несущей способности.

Испытания балок проводились на 100-тонном гидравлическом прессе. Нагрузка на балки передавалась через жесткий штамп размером 150x200, шарнирно закрепленный на гидравлическом прессе. Для центровки образцов с целью предотвращения появления эксцентриситета использовалось лазерное наведение. Установка для испытания состояла из рамы, жестко соединенной с силовым полом. Для крепления образцов использовалась дополнительная двутавровая балка.

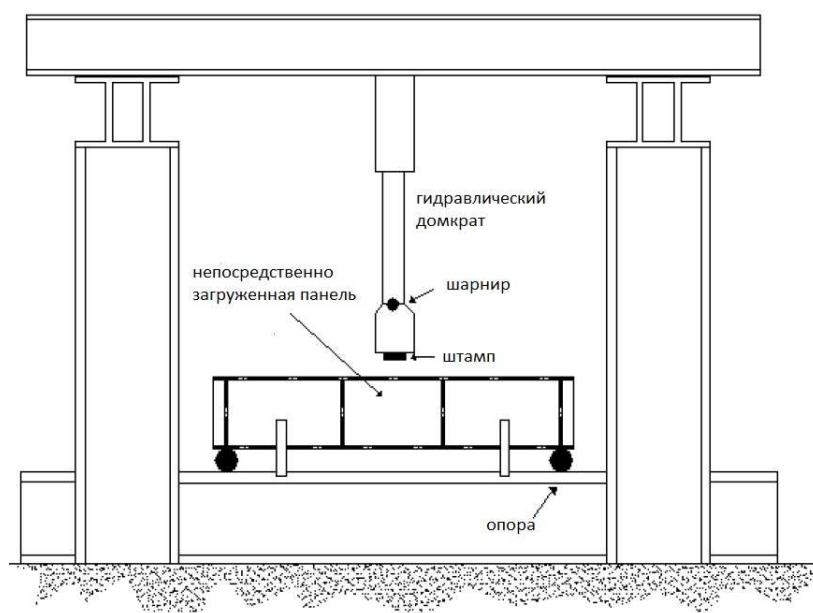


Рисунок 2. – Установка для проведения испытаний

**Начальные несовершенства.** До испытаний начальная форма стенки и полки четырех балок была получена с помощью прибора для измерения координат в 3D. 3D-формат данных является, по сути, множеством координат  $\{x_i, y_i, z_i\}$ , полученных для точек, находящихся на поверхности балки. Эти данные позволяют воспроизвести реальную форму стенки и полки. 3D-данные были получены для точек, являющихся узлами сетки с ячейкой 100x100 мм, которая предварительно была нанесена на балку. После получения результатов, были отмечены 2 особенности. Во-первых, в балках с расстоянием между ребрами жесткости  $a/h_w > 2$  наблюдался С-образный начальный выгиб стенки, с максимальным значением отклонением из плоскости 4 мм, что сопоставимо с толщиной стенки. В балках с расстоянием между ребрами жесткости  $a/h_w < 2$  наблюдался S-образный начальный выгиб стенки из плоскости, с максимальным значением отклонением из плоскости 2.5 мм. Во-вторых, начальные несовершенства полки были достаточно незначительными. Так же было отмечено значительное закручивание пластин относительно продольной оси стенки.

**Разработка модели в программном комплексе Abaqus CAE.** Каждая балка моделировалась с помощью следующих элементов: пластин верхнего и нижнего пояса, пластины стенки, пластин ребер жесткости и абсолютно жесткого пластинчатого элемента,

моделирующего штамп, через который прикладывалась нагрузка. Абсолютно жесткая пластина была соединена с верхней полкой балки при помощи узловых связей.

Все числовые значения в программном комплексе Abaqus CAE необходимо задавать в согласованных единицах измерения. Принятые единицы измерения представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Принятая система единиц измерения при расчетах в ABAQUS

Длина	Сила	Масса	Время	Напряжения	Плотность	Ускорение свободного падения
мм	Н	т	с	Н/мм <sup>2</sup>	т/мм <sup>3</sup>	мм/с <sup>2</sup>

Материалы заданы как упругопластические со стадией самоупрочнения.

Одна из опор балки была закреплена от перемещений относительно всех трех осей, второй было разрешено перемещение относительно продольной оси. Чтобы избежать закручивания верхней полки при приложении нагрузки боковые грани абсолютно жесткой пластины (штамп для приложения нагрузки) были закреплены от поворота относительно продольной оси (закрепления отмечены цифрой 3 на рисунке 3), также при учете эквивалентных геометрических несовершенств в виде «изолированных» опор был закреплён центральный отсек от перемещения из плоскости стенки балки (закрепления отмечены цифрой 4 на рисунке 3).

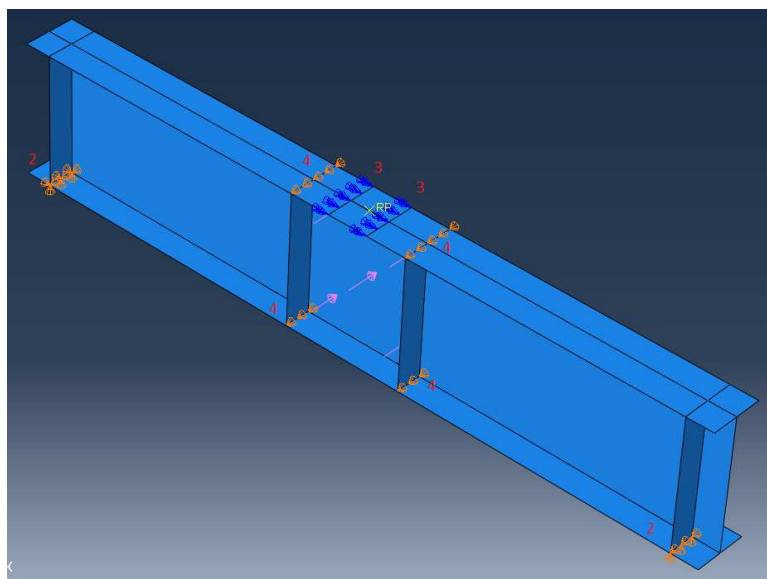


Рисунок 3. – Общая схема закрепления балок

**Задание сетки конечных элементов в программном комплексе Abaqus CAE.** Для моделирования балок был выбран элемент S4R (A 4-node doubly curved thin or thick shell, reduced integration, hourglass control, finite membrane strains – четырехузловой элемент тонкой или толстой пластины с криволинейным контуром, использованием редуцированной схемы интегрирования, конечными мембранными деформациями

и контролем за деформациями формы с нулевой энергией [12]. Для моделирования штампа, через который прикладывалась нагрузка был выбран элемент R3D4 (A 4-node 3-D bilinear rigid quadrilateral – четырехузловой билинейный прямоугольный конечный элемент, который используется для моделирования абсолютно жесткого тела в 3-D [12].

Сетка была сгенерирована и структурирована автоматически: размеры сетки стенки, полка и ребер жесткости балки 20мм, что соответствует 5 толщинам стенки балки. Размер сетки абсолютно жесткой пластины, через которую передается нагрузка – 10 мм.

**Этапы нагружения исследуемых балок в ABAQUS.** Нагружение проводилось в 3 этапа. На первом шаге была приложена нагрузка от собственного веса балки, которая учитывается путем задания значения ускорения свободного падения, равного 9810 мм/с<sup>2</sup>. На втором шаге были заданы эквивалентные геометрические несовершенства. На третьем шаге к абсолютно жесткой пластине, передающей нагрузку, была приложена узловая сила, моделирующая локальную нагрузку.

В качестве итерационного метода расчета был выбран метод Ньютона-Рафсона. В обоих шагах учет геометрической нелинейности, такой как большие перемещения и деформации производился включением команды NGEOM , что позволило учитывать изменяющуюся матрицу жесткости системы на каждой равновесной итерации. Расчет проводился с начальным приращением – 0,1 от нагрузки, минимальным приращением –  $1 \cdot 10^{-5}$  и максимальным приращением, равным действующему усилию.

**Учет эквивалентных геометрических несовершенств.** В качестве основного и единственного несовершенства было задано отклонение стенки отсека, к которому прикладывалась нагрузка, из плоскости. Несовершенство носит локальный характер в пределах отсека. В соответствии с приложением С [1] максимальное отклонение отсека из плоскости – наименьшее из значений  $\min(a/200, h_w/200)$ .

Учитывая указания примечания 2 приложения С5 (5) [1], задание отклонения стенки отсека из плоскости производилось путем приложения некоторого давления к стенке отсека до тех пор, пока перемещения в нем не достигали эквивалентных геометрических несовершенств. При этом на данном шаге загружаемый отсек дополнительно был закреплен от перемещений из плоскости балки. В таблице 4 приведено значение геометрических несовершенств и эквивалентная сила для балки 1VPL 450.

Таблица 4 – Эквивалентные геометрические несовершенства для балки 1VPL 450

Балка	Эквивалентные геометрические несовершенства, мм	Эквивалентная сила, Н/мм <sup>2</sup>
Серии 1/2 VPL		
1VPL 450	2.25	0.055

Стоит отметить, что получение корректного значения эквивалентной силы было достигнуто путем отслеживания перемещения центральной точки отсека в ходе нагружения эквивалентной силой на стадии нагружения «Imperfections», учитывающего несовершенства. Таким образом, для получения эквивалентной силы было необходимо построить график перемещения центральной точки отсека от действующей силы, пример такого графика приведен на рисунке 5.

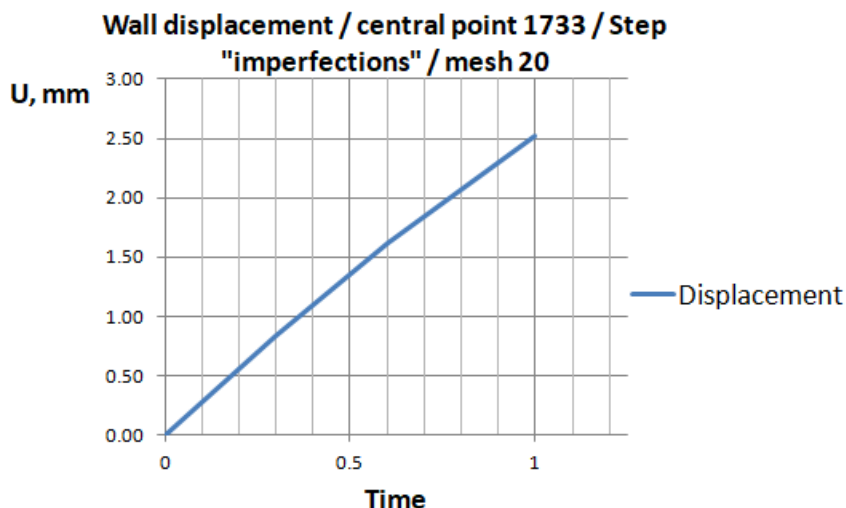


Рисунок 5. – График перемещения центральной точки отсека от эквивалентной силы за время ее приложения

**Заключение.** В настоящее время все более актуальным становится смещение «центра тяжести» исследований различных моделей сопротивления строительных конструкций с использованием МКЭ с попытками к частичному или полному замещению дорогостоящих натуральных испытаний, однако практическая реализация метода конечных элементов обладает определенным субъективизмом. Он может проявляться при моделировании геометрических параметров и граничных условий конструкции, задании нагрузки, моделировании материалов, выборе типа и размера конечных элементов. Это осложняется тем, что в нормах практики нет четких и подробных рекомендаций по расчетам на основе метода конечных элементов и оценке результатов расчета.

Некоторые рекомендации по расчетам при помощи метода конечных элементов стальных пластинчатых конструкций приведены в [1]. Согласно [1] при использовании метода конечных элементов для расчета конструкций следует обращать внимание на следующее: моделирование элемента конструкции и его граничных условий, выбор соответствующего программного обеспечения и необходимой документации, учет несовершенств, моделирование нагрузок, моделирование критериев предельного состояния и применяемые частные коэффициенты. Однако ни по одному из пунктов нет конкретных и четких рекомендаций к использованию. Нет рекомендаций по оценке точности и достоверности результатов полученных при расчете конструкций с помощью метода конечных элементов, отсутствует система частных коэффициентов.

В связи с этим представляется целесообразной разработка принципов и требований, которыми необходимо руководствоваться при компьютерном моделировании и оценке достоверности и точности решения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5. Пластинчатые элементы конструкций: ТКП EN 1993-1-5-2009\* Еврокод 3. – М: МАиС, 2014. – 51 с.

2. ANSI/AISC-360-05. Specification for Structural Steel Buildings– Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, 2005. – 256 p.
3. Roberts, T. M. A mechanism solution for predicting the collapse loads of slender plate girders when subjected to in-plane patch loading / T. M. Roberts, K. C. Rockey // Proc. Instn Civ.Engrs. – 1979. – Part 2(67) – P. 155–175.
4. Lagerqvist, O. Patch loading - Resistance of steel girders subjected to concentrated forces / O. Lagerqvist // Doctoral thesis 1994:159D, Lulee University of Technology. – 1994. – ISRN: HLU-TH-T-159-D—SE.
5. СНиП II-23-81\* Стальные конструкции. – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 90 с.
6. Flores, R. Resistance of Transversally Stiffened Hybrid Steel Plate Girders to Concentrated Loads: Diss. ... Doctoral thesis/R. Flores. – Polytechnic University of Catalonia, Barcelona, 2009. – 221 p.
7. Ширманов, В.С. Экспериментальное исследование работы стенок двутавровых балок на местную устойчивость// Исследования в области строительства. / В.С. Ширманов Тр. ГИСИ им. Чкалова. - Горький, 1971. – Вып. 58. –С. 68–73.
8. Лапшин, А.А. Прочность стальных неразрезных балок при локальных нагрузках и учете влияния конструктивных факторов: дис. ... канд. технич. наук :05.23.01/ А.А. Лапшин – Н. Новгород, 2001. – 378 с.
9. Возведение стальных и алюминиевых конструкций. Часть 2. Технические требования к стальным конструкциям: СТБ EN 1090-2-2013. – М: Госстандарт, 2014. – 193 с.
- 10.ECCS. European recommendations for the design of longitudinally stiffened webs and of stiffened compression flanges. Technical committee 8 – technical working group 8-3 – First edition, N.60, 1990 – 23 p.
- 11.Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1993-1-1-2009\* Еврокод 3. – М: МАиС, 2014. – 88 с.
- 12.ABAQUS, 6.12 Version. Manuals, 2012 Abaqus Inc, USA



УДК 624.012.85

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

**А.Е. Шилов, Ф.Ч. Окорафор**

Белорусский национальный технический университет, Беларусь  
e-mail: shilov@bnty.by

*Проектирование зданий и сооружений в условиях жаркого климата обладает рядом специфических особенностей, которые должны быть учтены уже на начальной стадии разработки архитектурной части проектируемого объекта с обязательным учётом его назначения. Учёт климатических условий позволит проектировщику в дальнейшем определить целесообразное конструктивное решение зданий и сооружений и выполнить правильно все необходимые расчёты.*

**Ключевые слова:** климатические факторы, солнечная радиация, усталость строительных материалов, безопасная эксплуатация, комфорт, гидротехнические сооружения.

## DESIGN FEATURES OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN A HOT CLIMATE

**A. Shilov, F. Ocorafor**

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus  
e-mail: shilov@bnty.by

*The design of buildings and structures in a hot climate has a number of specific features that must be taken into account at the initial stage of development of the architectural part of the projected object, with mandatory consideration of its purpose. Taking into account the climatic conditions will allow the designer to further determine the appropriate design solution for buildings and structures and perform all the necessary calculations correctly.*

**Keywords:** climate factors, solar radiation, fatigue of building materials, safe operation, comfort, hydraulic structures.

Проектирование зданий и сооружений в условиях жаркого климата обладает рядом специфических особенностей, которые должны быть учтены уже на начальной стадии разработки архитектурной части проектируемого объекта с обязательным учётом его назначения.

Районы с сухим жарким климатом характеризуются продолжительным знойным летом (более 100 дней в году), высокими температурами воздуха (абсолютный максимум равен или превышает 40°C, а средняя максимальная температура самого жаркого месяца равна или превышает 29÷30°C при средней относительной влажности воздуха самого жаркого месяца менее 50÷55%).

Именно учёт таких сложных климатических условий позволит проектировщику в дальнейшем определить целесообразное конструктивное решение зданий и сооружений и выполнить правильно все необходимые расчёты.

Для успешного проектирования и строительства необходимо учитывать климатические факторы, ухудшающие комфортность строений, снижающие их безопасность, вызывающие повреждение зданий и преждевременную усталость строительных материалов.

К повреждениям зданий и преждевременной усталости строительных материалов приводят:

1. интенсивная солнечная радиация;
2. высокая влажность и конденсация;
3. пыльные и песчаные бури;
4. содержание соли в воздухе;
5. температурные колебания, изменения направления и силы ветра и другие факторы; присущие для стран с жарким климатом.

Климатические требования к зданию определяют до начала проектирования сбором общей информации об интенсивности солнечного излучения, температуре, влажности, количества осадков, направления и силе ветра, облачности и т.д. При этом интерес представляют не только средние величины, но и экстремальные значения. Солнечная радиация лежит в основе всех климатических явлений, поэтому она оказывает решающее влияние на жизнедеятельность людей. Интенсивность воздействия определяется излучаемой энергией солнца, радиацией, отражённой от земной поверхности и потерями энергии на испарение и атмосферную радиацию.

Для каждого проекта в странах с жарким климатом целесообразно и даже необходимо изучать влияние на земную поверхность продолжительности, интенсивности и распространения солнечной радиации в данном месте.

Особый интерес учёта климатических факторов при проектировании представляют исследования Г. Липсмайера [1], в которых рассматривается графическая система, наиболее удобная для архитекторов, основанная как на наблюдениях, так и на вычислениях. Ниже приведены примеры графиков движения солнца, периодов солнечной инсоляции, азимутов и высоты солнцестояния, угол падения солнечных лучей на фасад здания в конкретном месте его проектирования (рис. 1-6).

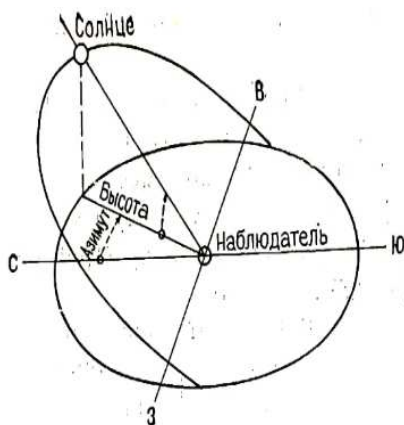


Рисунок 1. – Углы для измерения

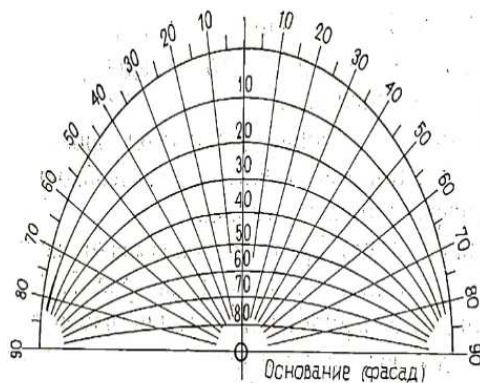
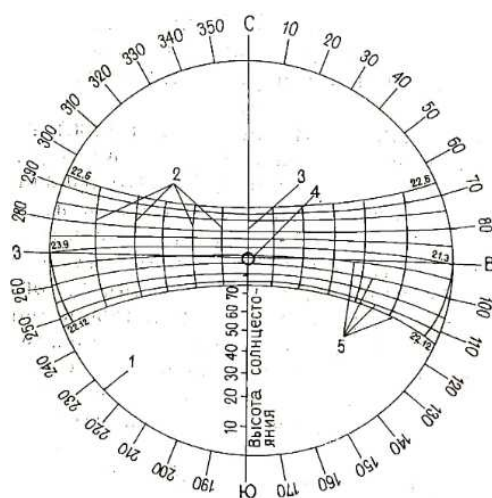


Рисунок 2. – Транспорт угла тени



1 – шкала азимутов; 2 – время дня; 3 – линия истинного солнечного полдня;  
4 – наблюдатель; 5 – линии дней

Рисунок 3. – График движения солнца

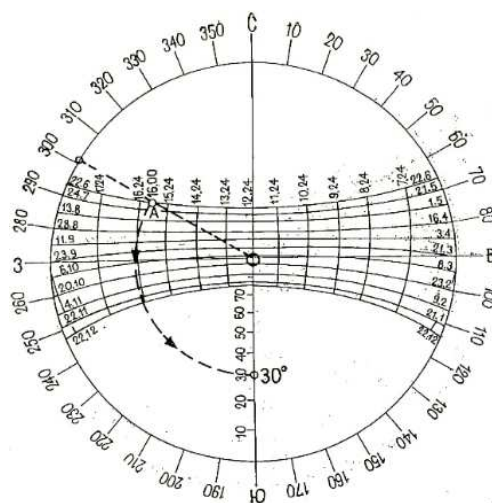


Рисунок 4. – Азимут и высота солнцестояния

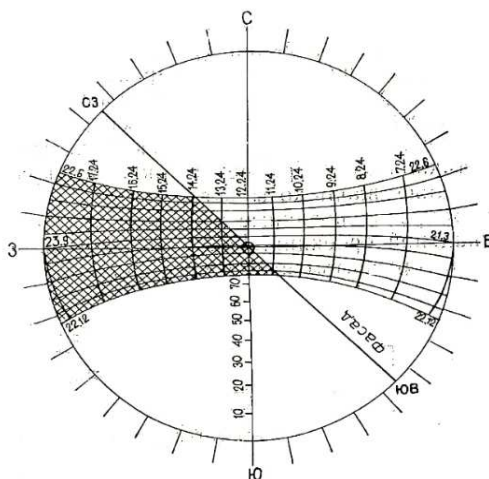


Рисунок 5. – Период возможной солнечной инсоляции

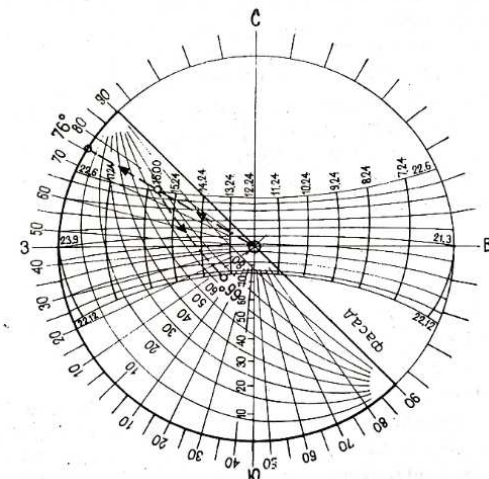


Рисунок 6. – Угол падения солнечных лучей на фасад

Самыми теплыми районами считаются те, в которых влияние солнечной радиации наибольшее, т.е. районы экваториальных стран, в которых температура от экватора к полюсу изменяется неравномерно. Угол падения солнечных лучей уменьшается по мере удаления от экватора, но с другой стороны, летние дни, во время которых солнце оказывает наибольшее влияние, становится длиннее. На рис. 7 приведена интенсивность дневной солнечной радиации на горизонтальной поверхности над уровнем моря, что необходимо учитывать при проектировании строительного объекта в зависимости от его расположения.

Температурные условия внутри сооружения зависят в основном от теплообмена между внешними стенами и окружающей средой. Теплоотдача стены определяется её ориентацией по отношению к солнцу. В тропических странах восточные и западные фасады больше других подвержены солнечной радиации. Косвенная радиация при более или менее закрытом облаками небе вызывает равномерный нагрев всех фасадов и частей здания. Некоторые материалы поглощают часть солнечной радиации, другие большую часть тепла отражают.

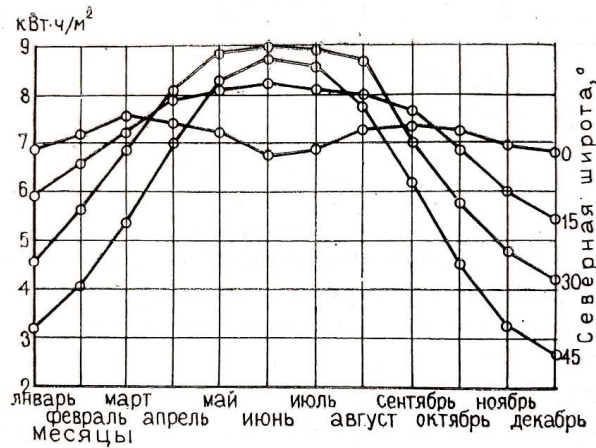


Рисунок 7. – Интенсивность дневной солнечной радиации на горизонтальной поверхности над уровнем моря [2]

Правильный выбор строительных материалов с учётом их смягчающего или усиливающего влияния на внутренние температурные изменения во многом способствуют их дальнейшей безопасной эксплуатации. В качестве примера комплексного подхода к учёту климатических факторов на «поведение» бетона можно привести номограмму из норм ACI 305.1-06 (USA) [5] на рис. 8.

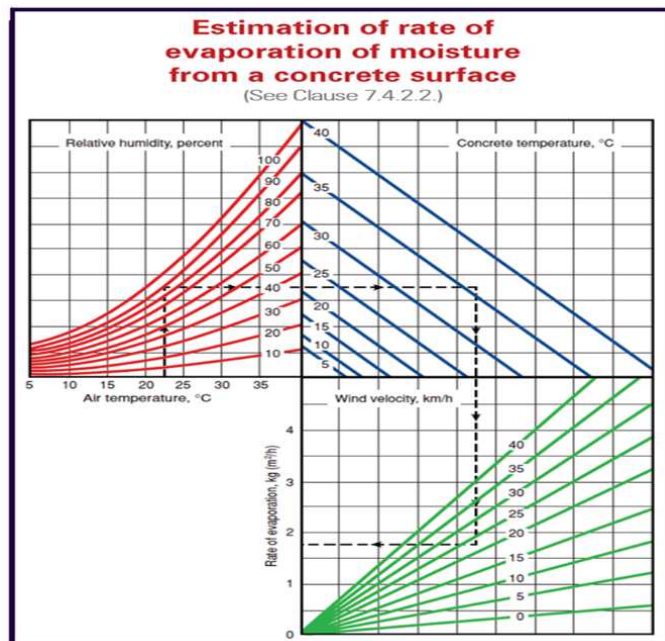


Рисунок 8. – Влияние температуры бетона и воздуха, относительной влажности и скорости ветра на скорость испарения поверхностной влаги из бетона [5]

Номограмма основана на общих гидрологических методах оценки скорости испарения воды из озер и водохранилищ и поэтому является наиболее точной при оценке скорости испарения из поверхности бетона, которая имеет разную степень влажности.

Цель проектирование объекта – это обеспечение безопасности и создание комфорта для жизнедеятельности в нём людей. Самые важные факторы, влияющие на уровень комфорта в закрытом пространстве здания – это температура воздуха, влажность, средняя температура воздуха от стен и потолка, движение воздуха, степень освещённости и распределение света в поле зрения.

При проектировании следует учитывать экстремальные климатические условия. Воздействие прямой солнечной радиации, сухих несущих пыль ветров, высокой влажности, чрезмерных суточных температурных перепадов и других подобных явлений можно свести на нет или смягчить до определенной степени хорошим проектом и правильным использованием материалов при возведении ограждающих конструкций.

Особый аспект проектирования и строительства составляют гидротехнические сооружения, возводимые в условиях жаркого климата, когда очень важно учитывать специфические природные условия конкретной страны или региона, а также данные гидрологических и геологических изысканий.

В настоящее время в ряде стран с жарким и тропическим климатом Латинской Америки, Азии и Африки интенсивно ведётся гидротехническое строительство с целью развития гидроэнергетики, ирригации, водоснабжения и других отраслей водного хозяйства.

При проектировании гидротехнических сооружений необходимо учитывать характер жаркого климата с чередующимся сухим и мокрым (с дождями, быстро наступающими ливнями) периодами или с малым количеством осадков. В первом случае при небольших гидроузлах, не создающих вместительного водохранилища, водосбросы рационально устраивать открытыми без затворов на гребне или с развитым гребнем.

В других случаях на крупных гидроузлах с достаточно вместительными водохранилищами обычно целесообразны водосбросы с затворами, в том числе и глубинные. Усовершенствованные конструкции последних позволяют обеспечивать их надежную работу даже при больших напорах, значительно срезать пик паводка в водохранилище, существенно снижать уровень воды в нем в чрезвычайных ситуациях [4].

Характер жаркого климата существенно влияет на выбор типа (конструктивного решения) плотины и на способе её возведения. В частности, в странах Северной Африки и Южной Америки широкое распространение нашли плотины с монолитными железобетонными экранами; плотины из мало-цементного укатанного бетона (США, Япония, и др.), который позволяет удешевить плотину и ускоряет её строительство; большое развитие туннельных водосбросов различных конструктивных решений из монолитного железобетона [4].

Исследования в области проектирования, расчёта и возведения зданий и сооружений в условиях жаркого климата принесут пользу специалистам Республики Беларусь в области строительной индустрии в связи с их выходом на зарубежные рынки, в частности и страны с жарким климатом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Липсмайер, Г. Строительство в условиях жаркого климата: Пер. с англ. – М: Стройиздат, 1983.
2. Штоль, Т.М., Евстратов, Г.И. Строительство зданий и сооружений в условиях сухого жаркого климата. – М: Стройиздат, 1984. – 350 с.
3. Римша, А.Н. Градостроительство в условиях жаркого климата. – М: Стройиздат, 1979. – 312 с.
4. Розанов, Н.П., Румянцев, И.С., Корюкин, С.Н. Особенности проектирования и строительства гидротехнических сооружений в условиях жаркого климата. – М.: Колос, 1993. – 303 с.
5. ACI 305.1-06. Specification for hot weather concreting. – USA, 2007. – 10 p.

Секция III  
РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 691.5

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ  
И МАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО

*И.Р. Капуш, Л.В. Закревская*

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: Ilya.kapush@gmail.com, lvzak@mail.ru

*Синтезированы и исследованы композитные материалы на основе костры технической конопли и магнезиального вяжущего на основе отходов доломита, а также изучены зависимости эксплуатационных свойств материала и дан сравнительный анализ с похожим аналогом – арболитбетоном.*

**Ключевые слова:** *костра, доломитовая мука, легкие бетоны, арболит*

LIGHTWEIGHT CONCRETES BASED ON NATURAL ORGANIC SUBSTANCES  
AND MAGNESIA BINDER

*I. Kapush, L. Zakrevskaya*

Vladimir state University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich  
Stoletov, Russian Federation  
e-mail: Ilya.kapush@gmail.com, lvzak@mail.ru

*Synthesized and studied composite materials based on technical hemp bonfires and magnesia binder based on dolomite waste, which makes this material cost-effective, as well as studied the dependence of the operational properties of the material and a comparative analysis with a similar analogue—arbolitbeton*

**Keywords:** *hemp, dolomite flour, light concrete, arbolite*

**Введение.** Костробетон – это натуральный строительный материал, родственный по своему составу арболиту. Для производства арболита используют щепу, измельченную кору и опилки длиной в 15–20 мм, цемент и воду. К достоинствам арболита как строительного материала можно отнести экологичность, высокую паропроницаемость, низкую теплопроводность и звукопроницаемость. Но как бы не был хорош арболит, недостатки материала все же стоит знать и учитывать – точность геометрии арболитовых блоков уступает таковой у других легкобетонных кладочных камней (пенобетона, газобетона). Особенно это характерно для производств с большой долей ручного труда; также арболитовый блок необходимо защищать от прямого воздействия влаги. Этих недостатков лишен полученный в данном исследовании костробетон [1].



Костробетон изготавливается из смеси технической конопли, вяжущего, минерального наполнителя и затворителя. Техническая конопля – это одревесневшие части стеблей прядильных растений, получаемые при их первичной обработке (мягчении, трепании). Костра состоит из целлюлозы (46–55 %масс), лигнина (21–29 %масс) и пентозанов (21–23 %масс) [3].

Существующая технология производства костробетона состоит в следующем- костру перемешивают с песком, затем добавляют цементное молоко, тщательно перемешивают, после чего укладывают смесь слоями по 10–15 см и трамбуют [4]. К минусам данной технологии можно отнести отсутствие процедуры увлажнения костры, вследствие чего в процессе затворения костра конопли дополнительно влагонасыщается и теряет многие полезные эксплуатационные характеристики, такие как плотность, прочность и водопоглощение.

Предлагаемая технология костробетона отличается прежде всего применяемым вяжущим веществом- полуобожженным доломитом, относящимся к магниальным цементам. В качестве затворителя используется бишофит ( $MgCl_2$ ) или сульфат магния ( $MgSO_4$ ), плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup>. Одним из путей упрочнения и придания костробетону новых свойств, позволяющих значительно расширить области их применения, является дополнительное введение в композицию хризотила. Хризотил ( $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) это минерал группы серпентина, является по своему кристалло-химическому составу родственным к магниальному вяжущему, полученному из доломита. Хризотил отличается высокой прочностью и обладает следующими свойствами [2]:

- прочность на разрыв – более 300 кг·с/мм<sup>2</sup>;
- плотность минерала – 2 400 – 2 600 кг/м<sup>3</sup>;
- температура плавления – 1 450 – 1 500 градусов;
- коэффициент трения (по железу) – 0,8;
- щелочестойкость – 9,1 – 10,3 рН;
- теплопроводность – 0,05 – 0,07 Вт/(м·К).

Экспериментальная часть. Для сравнения эксплуатационных свойств костробетона с внедренным в его состав хризотилом и без него, были синтезированы составы композитов, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. – Составы синтезированных композитов

Наименование компонента	Содержание компонентов, масс%, в составах марки		
	КМ1	КМ2	КМ3
MgO	16	12	18
Костра	22	22	22
Бишофит	30	33	33
Доломит	30	30	30
Хризотил	2	6	0

Технологическая схема состоит из следующих переделов:

- 1) Подготовка сырья заключается в увлажнении костры водой;
- 2) Обжиг доломита при  $t$  680-720 °С;
- 3) Дозирование составляющих;
- 4) Перемешивание компонентов;
- 5) Формирование блоков в специальных опалубках;
- 6) Технологическая выдержка;
- 7) Разопалубка;

Технологическая схема производства костробетона представлена на рисунке 1:

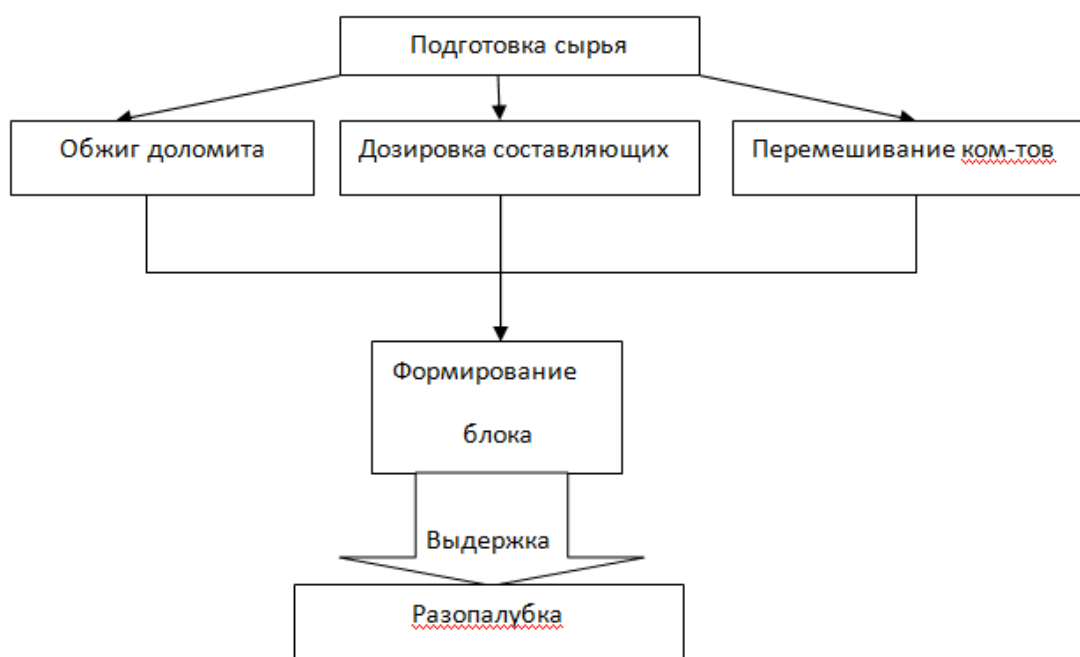


Рисунок 1. – Технологическая схема производства костробетона

Опытные образцы получали по следующей схеме: Костра конопли увлажняется водой в массовом соотношении 5:1 (костра : вода) и смешивается с остальными компонентами до образования однородной массы, после чего добавляется бишофит и производится повторное перемешивание. Далее сырьевая смесь равномерно укладывается на виброплощадку СМЖ-539 для уплотнения. Далее смесь помещается в опалубку и подвергают прессованию с усилием от 3 до 5 кгс/см<sup>2</sup> на прессе МС-500 и после чего полученный строительный элемент подвергается сушке при комнатной температуре. На вторые сутки блоки разопалубливаются и проводится исследование эксплуатационных свойств получившегося строительного материала. При проверке прочности использовался неразрушающий метод контроля – метод ударного импульса. Теплопроводность измерялась с помощью прибора МИТ-1 зондовым методом. Водопоглощение измерялось прибором ВЛАГОМЕР-МГ4Б. Результаты изучения эксплуатационных характеристик синтезированных композитов представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Эксплуатационные характеристики синтезированных композитов

Марка состава	Прочность на сжатие, R <sub>сж</sub> , МПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м·К	Водопоглощение, %
КМ1	13,6	681	0,091	12,5
КМ2	13,1	669	0,087	12,8
КМ3	10,8	746	0,11	13

Для сравнительного анализа был взят арболит, так как его состав схож с составом костробетона. Арболит применяется в строительстве как конструкционно-теплоизоляционный материал. Ниже приведен рисунок с основными эксплуатационными характеристиками арболита.

	<i>Средняя плотность</i>	<i>400-850 кг/м<sup>3</sup></i>
	<i>Прочности при сжатии</i>	<i>0,5-5,0 МПа</i>
	<i>Прочности при изгибе</i>	<i>0,7-1 МПа</i>
	<i>Теплопроводность</i>	<i>0,07-0,17 Вт/(мх°С)</i>
	<i>Морозостойкость</i>	<i>25-50 циклов</i>
	<i>Водопоглощение</i>	<i>40-85 %</i>
	<i>Усадка</i>	<i>0,4-0,5 %</i>
	<i>Биостойкость</i>	<i>V группа</i>
	<i>Огнестойкость</i>	<i>0,75-1,5 ч</i>
	<i>Звукопоглощение 126 - 2000</i>	<i>0,17-0,6 Гц</i>

Рисунок 2. – Основные эксплуатационные характеристики арболита

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод о том, что синтезированный композиционный материал по своим характеристикам ничем не уступает арболиту и может использоваться в строительстве как конструкционно-теплоизоляционный материал. На рисунке 3 представлены образцы костробетона.



Рисунок 3. – Образцы костробетона

**Заключение.** Разработанный композиционный материал обладает улучшенными свойствами по сравнению с существующим на рынке арболитом и по себестоимости дешевле последнего за счет использования в своем составе отходов промышленности. Состав материала позволит использовать его в малоэтажном строительстве как конструкционно-теплоизоляционный материал не подвергаемый биологическому разрушению. Разработанный материал позволит решить проблему использования отходов технической конопли текстильного производства и отходов доломита в виде магнезиального вяжущего, тем самым снизив стоимостные характеристики материала, по сравнению с существующими мировыми аналогами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алехин, Ю. А. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов [Текст] / Ю.А. Алехин, А.Н. Люсов / – М.: Стройиздат, 1988. – 342 с.
2. Васильков, Н. Рецепт «добрых» стен от ДОМОЭКОТЕХ Текст. / Н. Васильков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – №6. – 2004. – С. 42 – 43.
3. Галкин, П.А., Галкина, А.Е., Трищенко, С.А. Современный ремонт. Большая энциклопедия / ЭКСМО, 2011. – 547 с.
4. Петер Нойферт, Людвиг Нефф Проектирование и строительство. Дом, квартира, сад / Архитектура-С, 2016 – 165 с.

УДК 625.7/.8.05

## ПРИМЕНЕНИЕ ШЛАКОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*С.А. Дергунов, К.В. Юкова, Д.С. Махина, С.В. Сериков*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru, karina\_yukova@mail.ru

*В данной статье рассмотрены способы применения шлаков черной металлургии в дорожном строительстве. Описаны преимущества внедрения отходов промышленности в конструкцию дорожной одежды вместо природных материалов. Рассмотрен химический состав доменных шлаков. Обозначена перспективность использования шлаков черной металлургии на территории России.*

**Ключевые слова:** *шлак, дорожное строительство, черная металлургия, энергоэффективное строительство, ресурсосбережение.*

## APPLICATION OF SLAGS OF FERROUS METALLURGY IN ROAD CONSTRUCTION

*S. Dergunov, K. Yukova, D. Mahina, S. Serikov*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru, karina\_yukova@mail.ru

*This article discusses how to use the slag of ferrous metallurgy in road construction. The advantages of introducing industrial waste into the construction of pavement instead of natural materials are described. The chemical composition of blast furnace slag is considered. The prospects of using slag from ferrous metallurgy in Russia are indicated.*

**Keywords:** *slag, road construction, ferrous metallurgy, energy-efficient construction, resource conservation.*

В настоящее время стремительно растет количество автомобильного транспорта и число перевозимого груза, в результате чего остро стоит вопрос развития сети автомобильных дорог и повышения их технико-эксплуатационных качеств.

Между быстрым и безопасным движением транспорта, а также качеством дорожного полотна существует прямая зависимость. В процессе строительства и ремонта линейных конструкций используются большие объемы природного минерального сырья (песок, гравий, щебень, минеральный порошок), запасы, которых истощаются со временем. В связи с этим возникла проблема замены дорогостоящих материалов, необходимых для строительства автомобильной дороги, более дешевыми. Особое внимание в этом вопросе уделяется преимуществам ресурсосберегающих технологий, которые включают в себя экономию ресурсов и денежных средств. При этом энергоэффективное строительство рассматривается не только с точки зрения экономии, но и в улучшении здоровья и комфорта человека.

На сегодняшний день одним из перспективных направлений является использование отходов промышленности в дорожном строительстве.



Рисунок 1. – Применение шлаков в дорожном строительстве

Применение шлаков при строительстве дорог обусловлено не только экономически. Миллионы тонн отходов черной металлургии используются в дорожном строительстве, высвобождая тем самым значительные территории, занимаемые полигонами и свалками. Вовлечение этих материалов в технологический процесс дорожного строительства позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду и расширить ресурсную базу отрасли. Применение шлаков становится еще более эффективным за счет неравномерного распространения по территории страны, за счет чего снижается дальность возки материалов к объектам строительства.

Благодаря множеству технологических решений, которые характерны для дорожной отрасли, возможно использовать при строительстве дорог практически все отходы промышленности за исключением отходов, имеющих повышенное содержание канцерогенов. Но, несмотря на универсальность шлаков, определять области их применения можно только исходя из их природы. Только в этом случае будут полностью использованы все ценные свойства шлаков.

Шлаки имеют сложный и разнообразный химический состав (встречается до 30 химических элементов), вследствие чего различают шлаки чёрной металлургии и цветной металлургии. В настоящее время в наибольшей степени используют шлаки черной металлургии, которые в свою очередь делятся на доменные, сталеплавильные и ферросплавные.

Предпочтение при строительстве дорог отдают доменным шлакам, основные составляющие которых приведены в таблице 1. Химический состав шлаков варьируется в очень узких пределах, поскольку все сырье, загружаемое в доменную печь, очень тщательно отбирается и смешивается.

Многолетний опыт строительства автодорог показывает, что себестоимость шлаковых дорожно-строительных материалов в два раза ниже себестоимости аналогичной продукции из естественных горных пород. Чтобы понять, сколько материалов требуется на возведение 1 км. автомобильной дороги в зависимости от ее категории и местных условий, обратимся к рисунку 2.

Таблица 1. – Типичный химический состав доменного шлака

Химический состав	Содержание, %
кварц	32-42
оксид алюминия	7-16
оксид кальция	32-45
окись магния	5-15
сера	1-2
оксид железа	1-1,5
оксид марганца	0,2-1,0



Рисунок 2. – Потребление материальных ресурсов при строительстве автомобильных дорог

В связи с большими объемами затрат природных материалов и их высокой стоимостью стали производить частичную замену компонентов на шлаки черной металлургии.

Так, например, в конструкции дорожной одежды слои основания работают в более благоприятных условиях по сравнению с покрытиями, что позволяет широко использовать для их строительства отходы промышленности. Это позволяет продлить срок службы и повысить стойкость на 2-5 лет исходя из интенсивности движения.

Широко используется в строительстве шлаковый щебень, который успешно заменяет натуральный. Технология изготовления основывается на дроблении отвальных шлаков или резком охлаждении жидкого расплавленного шлака водой, что делает материал прочным, способным выдерживать высокие и низкие сезонные температуры.

Способом шлакового литья получают плитки и камни для мощения тротуаров и изготовления бордюров, которые ничем не уступают стальным и железобетонным аналогам. Тем не менее, композиционный материал на основе шлака должен обладать высокой деформативной способностью: достаточно высокой прочностью, водо- и морозостойкостью, устойчивостью против образования трещин и пластических деформаций.

Все вышеперечисленные технологии позволяют значительно увеличить срок службы автомобильных дорог в сравнении с уже исчерпавшими себя традиционными

методами ремонта. Внедрение новых технологий дает возможность экономить до 2 млн. руб. при ремонте 1 км. дороги.

На сегодняшний день около 20% доменных шлаков в России отправляется в отвалы, тогда как за рубежом используется до 98% всех шлаков. В связи с этим необходимо возвращать в технологический процесс строительства как можно больше образующихся побочных продуктов черной металлургии. В совокупности со стратегией снижения объемов шлаков, такой подход позволит обеспечить экономию природного сырья и улучшить экологическую составляющую.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романенко, И.И., Романенко, М.И., Петровнина, И.Н. Новые материалы в дорожном строительстве [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2015. – №7. – С. 198-200. – Режим доступа: URL <https://moluch.ru/archive/87/16615/> – Дата доступа: 25.10.2019.
2. Шестоперов, С.В. Дорожно-строительные материалы. Ч. 1. Учебник для вузов. М. : Высшая школа, 1976. – 256 с.
3. Ресурсосберегающие технологии в строительстве / Э.М. Калицкий [и др.]. Минск: РИПО, 2012. – 148 с.
4. Справочник дорожных терминов / Под ред. д-ра техн. наук проф. В. В. Ушакова. – М. : ЭКОН – ИНФОРМ, 2005. – 256 с.
5. Разработка и обоснование технологии применения железосодержащих отходов промышленности в дорожном строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://tekhnosfera.com/>. – Дата доступа: 25.10.2019.
6. Комплексное использование металлургических шлаков в дорожном строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL [https://knowledge.allbest.ru/construction/3c0b65625a2bd78b4c53a89421316d27\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/construction/3c0b65625a2bd78b4c53a89421316d27_0.html). – Дата доступа: 25.10.2019.
7. Отсев гранитный, шлак отвальный, шлак гранулированный. Использование в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://stroysnami.dp.ua/slag.php>. – Дата доступа: 25.10.2019
8. Ольховиков, В.М. Строительство дорожных оснований: Учебное пособие. – М. : Техполиграфцентр, 2008. – 55 с.
9. Отходы металлургии и энергетического комплекса, применяемые для строительства автомобильных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL [http://www.science-bsea.bgita.ru/2011/mashin\\_2011\\_1/pugin\\_othod.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2011/mashin_2011_1/pugin_othod.htm). – Дата доступа: 25.10.2019.
10. Шлаки в металлургии [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL <https://metallplace.ru/about/stati-o-chnernoy-metalurgii/shlaki-v-metalurgii/>. – Дата доступа: 25.10.2019.
11. Применение отходов промышленности для строительства оснований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://www.newbur.ru/articles/19547>. – Дата доступа: 25.10.2019.
12. Шлаки и их использование в строительной отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL [https://studbooks.net/2298490/nedvizhimost/shlaki\\_iskpolzovanie\\_stroitelnoy\\_otrasli](https://studbooks.net/2298490/nedvizhimost/shlaki_iskpolzovanie_stroitelnoy_otrasli). – Дата доступа: 25.10.2019.



УДК 693.547

## СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА С КОМПЛЕКСНЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

*Ж.Л. Зеленковская, В.В. Бабицкий*

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: zhannazelenaya@yandex.by

*Предложена модель расчета параметров бетона, учитывающая как его состав, так и температурно-временные условия твердения. Исследовано изменение характеристик цементного камня (степень гидратации цемента, капиллярная пористость, предел прочности на сжатие) с различным начальным водоцементным отношением без и с химическими добавками. Предложен программный продукт для расчета параметров твердения монолитного бетона.*

**Ключевые слова:** монолитный бетон, химические добавки, твердение бетона, математическая модель.

## STRUCTURAL AND MECHANICAL SIMULATION OF THE SOLIDITY OF MONOLITHIC CONCRETE WITH INTEGRATED CHEMICAL ADDITIVES

*Z. Zelenkovskaya, V. Babitsky*

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: zhannazelenaya@yandex.by

*A model is proposed for calculating concrete parameters, taking into account both its composition and temperature-time hardening conditions. The change in the characteristics of cement stone (degree of cement hydration, capillary porosity, compressive strength) with a different initial water-cement ratio without and with chemical additives was investigated. A software product for calculating the hardening parameters of monolithic concrete is proposed.*

**Keywords:** monolithic concrete, chemical additives, concrete hardening, mathematical model.

**Введение.** С развитием в Республике Беларусь монолитного строительства инженеру–технологу на практике приходится сталкиваться с трудностями учета климатических факторов и условий ведения строительных работ, которые сказываются на качестве бетона. Это происходит из-за крайней неоднородности структурных и физико–механических свойств бетона монолитных бетонных и железобетонных конструкций.

Методы бетонирования монолитных конструкций в целом отработаны, оптимизированы после многочисленных проб и ошибок, причем обычно применительно к какому-то определенному поставщику цемента, постоянно применяемым химическим добавкам и пр.

Однако использование, например, какой-либо новой химической добавки ставит инженера-технолога перед необходимостью проводить большой объем работы, примерно назначая по имеющимся разнообразным таблицам, графикам, собственным данным варианты режимов твердения монолитного бетона с их последующей экспериментальной проверкой.

Целесообразнее параметры режима твердения монолитного бетона не получать в результате экспериментальной проверки вариантов, а проектировать, для чего, естественно, необходимы соответствующие инструменты.

Для улучшения эксплуатационных характеристик бетона широко используются самые разнообразные добавки. Соответственно необходимы методики для проектирования составов бетона с такими добавками.

Основная задача в данном случае заключается в получении математической модели, которая взаимно учитывает технологическую (кинетику изменения характеристик бетона) и теплотехническую (текущая температура окружающей среды и способы подвода тепла) стороны процесса.

Необходимость такой увязки несомненна, но на практике реализуется недостаточно, в основном по причине отсутствия формул, позволяющих связать многочисленные влияющие факторы в единый комплекс.

В данной статье представлено доступное программное обеспечение, позволяющее комплексно оптимизировать состав бетона и рассчитать требуемые теплотехнические характеристики опалубки с целью получения в проектный срок заданных свойств бетона.

**Структурообразование цементного камня.** В основе предлагаемой методики проектирования режима твердения бетона лежит представление о том, что его свойства, формирующиеся в процессе твердения, определяются кинетикой изменения степени гидратации цемента, которая, в свою очередь, зависит от следующих основных факторов:

- минералогический состав, тонкость помола и активность цемента;
- водоцементное отношение бетонной смеси;
- температурно-влажностные условия и время твердения;
- вид и дозировка химических добавок;
- особенности технологии производства изделий.

Следовательно, знание величины степени гидратации цемента в данный момент времени, позволяет рассчитывать прочность твердеющего бетона. Весь период твердения разбивается на равные интервалы.

Процесс проектирования режима заключается в выполнении для каждого последующего интервала времени следующих основных операций:

- 1) применительно к концу текущего интервала времени, в зависимости от всего комплекса влияющих факторов и температуры бетона изделия к концу предыдущего интервала времени определяется степень гидратации цемента;
- 2) рассчитывается прочность бетона в изделии;
- 3) в зависимости от степени гидратации и минералогического состава цемента рассчитывается тепловыделение цемента;
- 4) рассчитываются температуры поверхности и центра изделия, а также бетона изделия в целом;
- 5) определяется баланс прихода и расхода теплоты, теплотехнические параметры процесса.

Для экспериментального исследования влияния комплексных химических добавок на кинетику изменения степени гидратации цемента (и соответственно структурных характеристик цементного камня и бетона) использована достаточно простая и в то же вре-

мя вполне достоверная методика, заключающаяся в нахождении химически связанной воды в предварительно высушенной, а затем прокаленной навеске гранул цементного камня [1]. Капиллярная пористость рассчитывалась по общеизвестным формулам с учетом водоцементного отношения цементного теста и степени гидратации цемента. Предел прочности цементного камня на сжатие исследовался на образцах с ребром 2 см.

Составы цементного теста выбирались таким образом, чтобы варьировать относительное водосодержание (по И.Н. Ахвердову) [3] в пределах от 0,876 до 1,65 без добавок, а также с добавками сульфата натрия (СН на рисунках), аналог С-3 суперпластификатор СП-1 (СП), микропоран (МП). Результаты представлены на рис. 1-8.

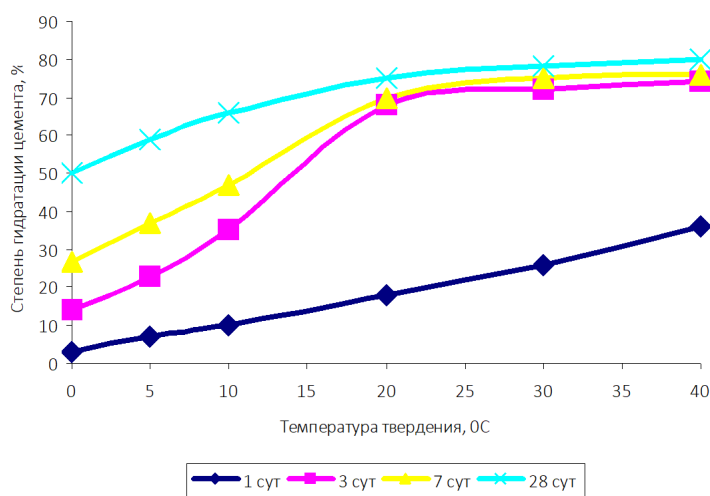


Рисунок 1. – Зависимость степени гидратации цемента от температуры твердения цементного камня без добавок при относительном водосодержании цементного теста, равном 1,2, в различные сроки твердения

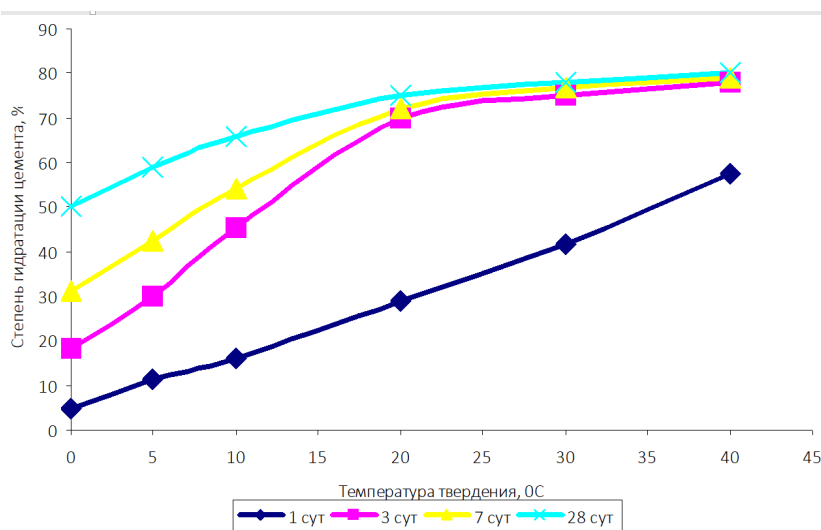


Рисунок 2. – Зависимость степени гидратации цемента от температуры твердения цементного камня с добавкой СН при относительном водосодержании цементного теста, равном 1,2, в различные сроки твердения

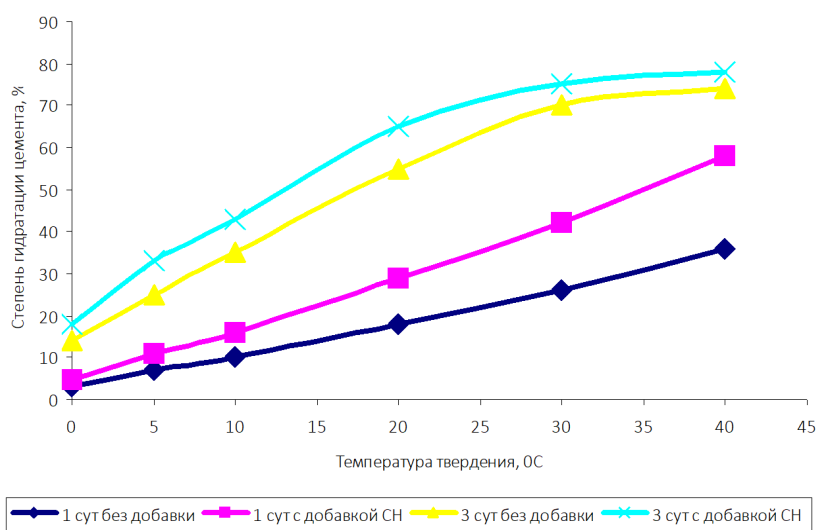


Рисунок 3. – Зависимость степени гидратации цемента от температуры твердения цементного камня при относительном водосодержании цементного теста, равном 1,2, в различные сроки твердения

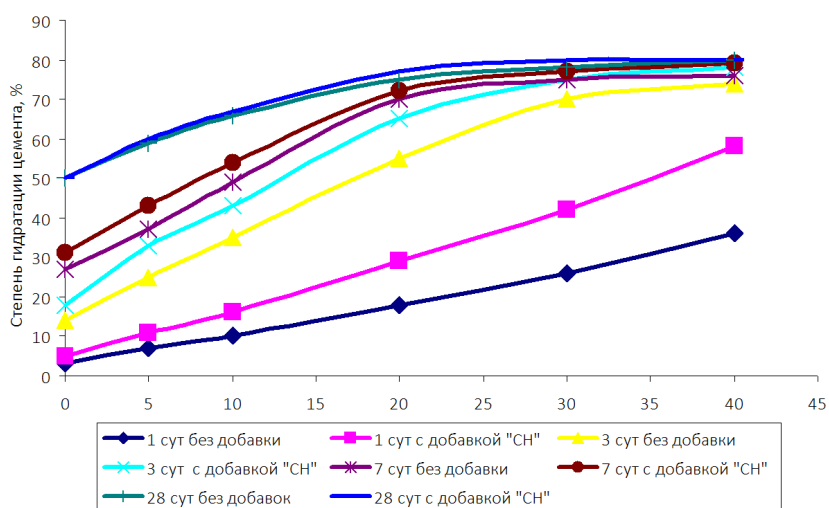


Рисунок 4. – Зависимость степени гидратации цемента от температуры твердения цементного камня при относительном водосодержании цементного теста, равном 1,2, в различные сроки твердения

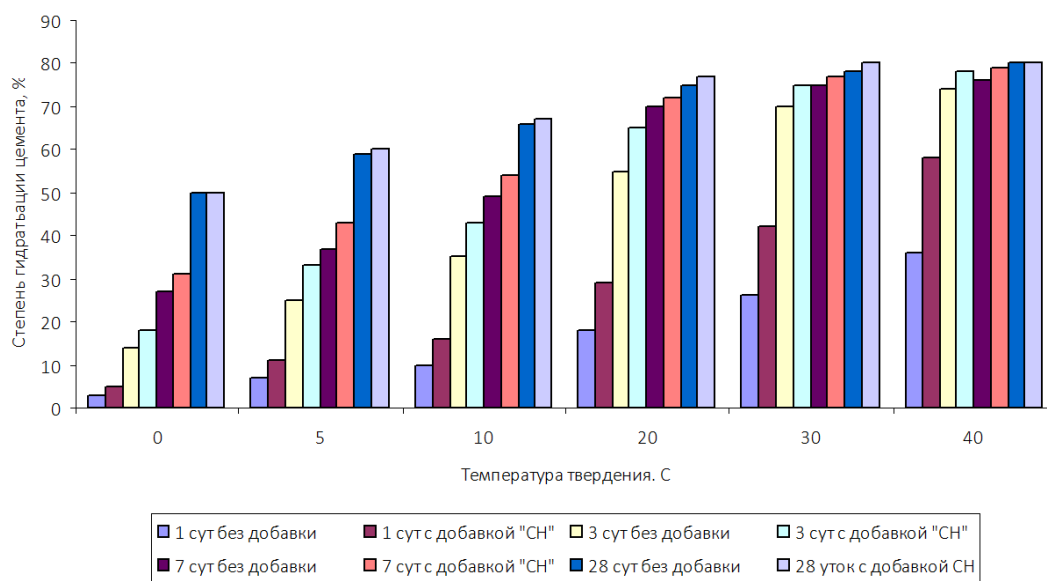


Рисунок 5. – Изменение степени гидратации цемента при повышении температуры в 1, 3, 7, 28 сутки твердения без добавок и с добавкой CH

Кинетика изменения характеристик цементного камня с комплексными химическими добавками в возрасте 3 суток нормально-влажностного твердения представлена на рис. 6–8.

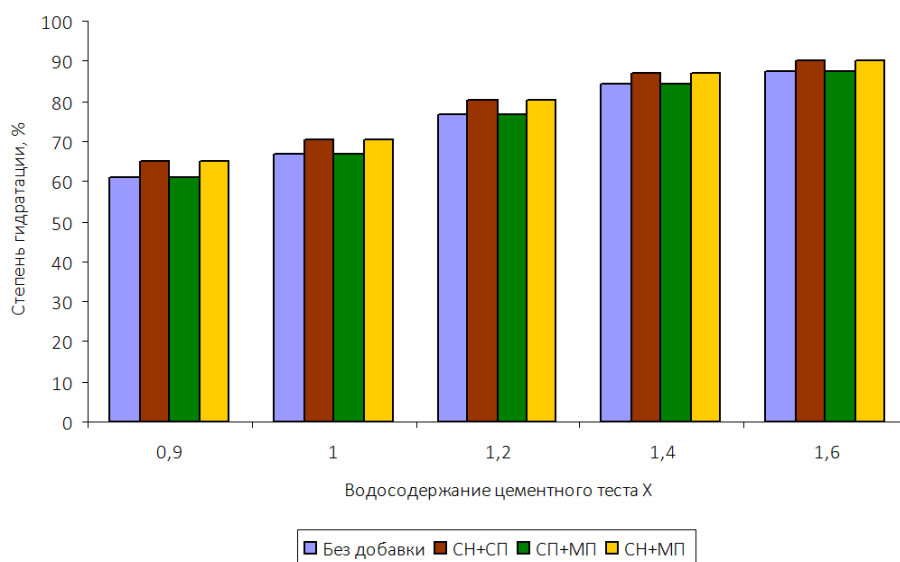


Рисунок 6. – Влияние химических добавок и относительного водосодержания цементного теста на изменение степени гидратации цемента

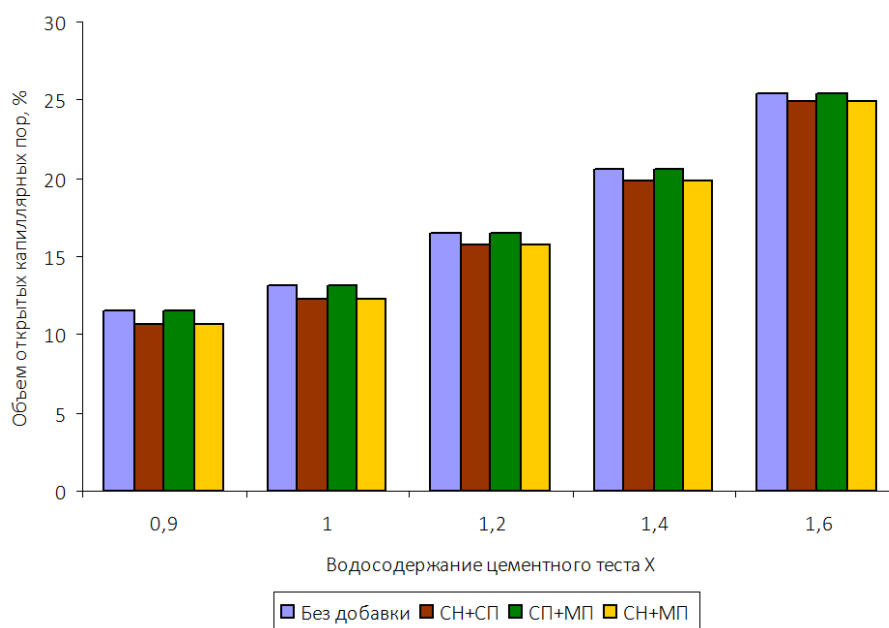


Рисунок 7. – Влияние химических добавок и относительного водосодержания цементного теста на изменение капиллярной пористости цементного камня

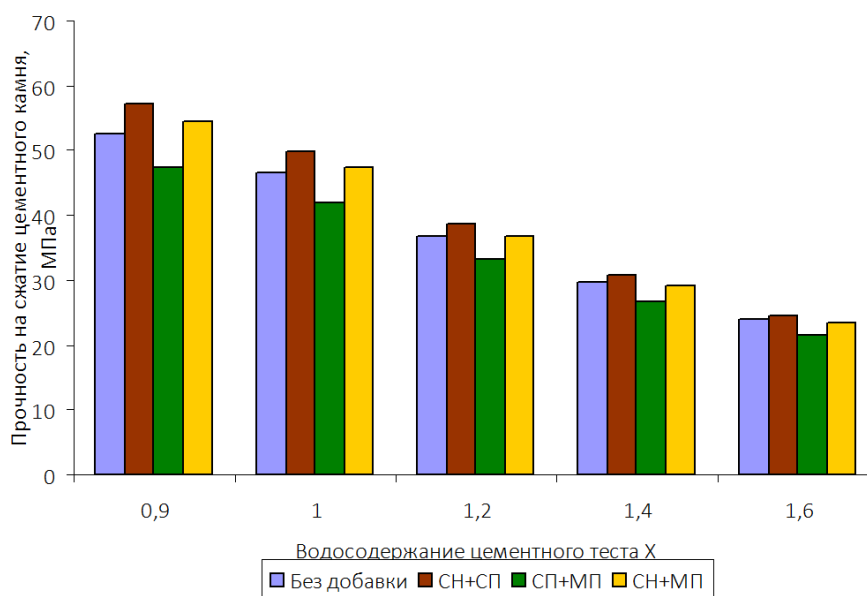


Рисунок 8. – Влияние химических добавок и относительного водосодержания цементного теста на изменение прочности на сжатие цементного камня

Полученные результаты использованы для пошагового расчета параметров твердеющего бетона и при разработке программного продукта.

**Программный продукт.** На рис. 9 приведен интерфейс программного обеспечения, позволяющего параллельно оптимизировать состав бетона, а также рассчитать требуемые теплотехнические характеристики опалубки с целью получения в проектный срок заданных свойств бетона. В программе реализован подбор состава тяжелого бетона (с

противоморозными, пластифицирующими, воздухововлекающими добавками, ускорителями твердения) и расчет параметров режима термосного выдерживания.

Бетонирование с применением метода термоса базируется на принципе использования тепла, введенного в бетон на стадии приготовления бетонной смеси (как пример – при ее электроразогреве в бункере перед укладкой в опалубку) и тепловыделения цемента в процессе гидратации (экзотермия цемента).

На рисунке 9 представлено окно программного модуля, отражающее исходные данные и результаты вычислений:

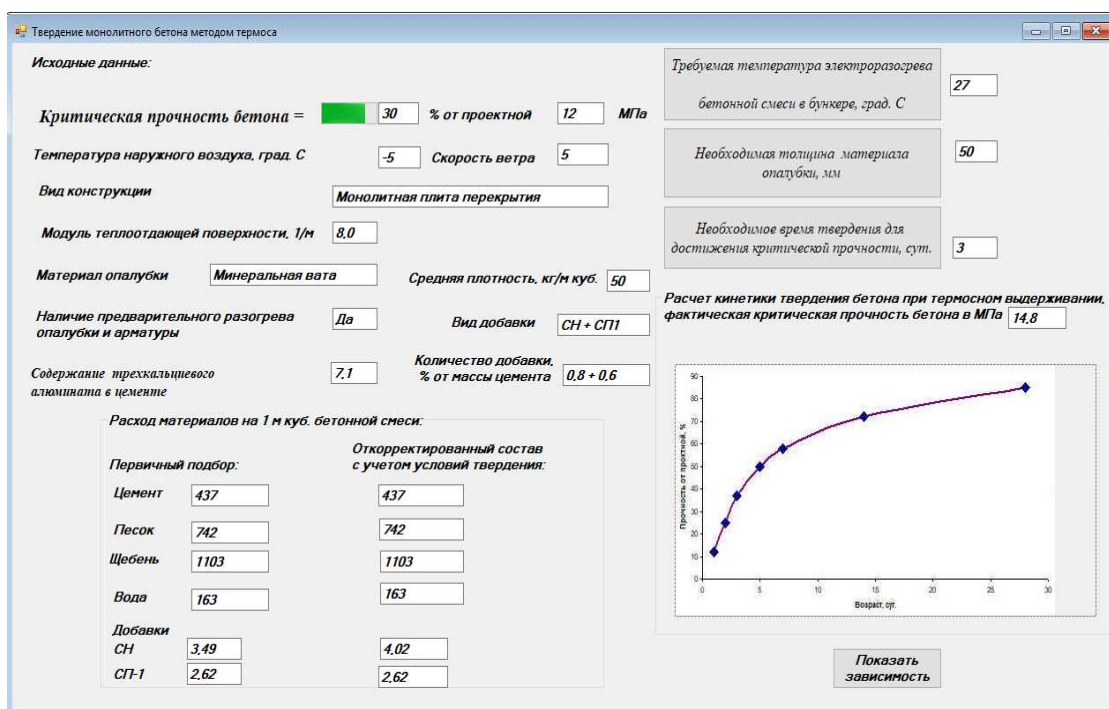


Рисунок 9. – Диалоговое окно программного обеспечения

Последовательность расчета, используемая в программном модуле:

Пользователь вводит исходные данные: расчетное значение критической прочности бетона, которое должно быть не ниже требований, рекомендованных в [2] и соответствовать требованиям проектной документации к распалубочной прочности бетона конструкции, температуру наружного воздуха, скорость ветра, выбирает вид конструкции с заданной площадью поверхности, объемом бетона, модулем теплоотдающей поверхности бетонируемой конструкции.

Устанавливается значение средней температуры бетона за расчетный период твердения, которое обеспечивает достижение требуемой критической прочности. В случае применения добавок — ускорителей твердения:  $CaCl_2$ ,  $Na_2SO_4$ , а также цемента, содержащего  $C_3A \geq 7\%$  или  $C_3S + C_3A \geq 60\%$ , продолжительность выдерживания бетона в опалубке уточняется в соответствии с рекомендациями [2].

Далее по известным зависимостям в автоматическом режиме производится расчет.

Определяется температура предварительного разогрева бетонной смеси, которая обеспечивает принятую по средней температуре за текущий период твердения бетона

с учетом снижения температуры при укладке смеси в опалубку и конечной температуры бетона к моменту распалубки:

$$t_{\text{раз}} = \frac{(t_{\text{сп}} - t_{\text{БК}}) \cdot (1,03 + 0,181M_n)}{1 - 0,006 \cdot (t_{\text{сп}} - t_{\text{БК}})} + t_{\text{укл}}. \quad (1)$$

В случае укладки бетона на неотогретое основание температура разогрева определяется по формуле:

$$t'_{\text{раз}} = \frac{c_{\text{б}} \rho_{\text{б}} V_{\text{б}} t_{\text{раз}} - c_{\text{ст}} m_{\text{ст}} V_{\text{б}} (t_{\text{сп}} - t_{\text{н.в}}) - Q_{\text{оп}} - Q_{\text{очн}}}{c_{\text{б}} \rho_{\text{б}} V_{\text{б}} + c_{\text{ст}} m_{\text{ст}} V_{\text{б}} + \sum_{i=1}^n c_i F_i \delta_i \rho_i + c_{\text{очн}} \rho_{\text{очн}} V_{\text{очн}}}. \quad (2)$$

Производится расчет снижения температуры бетона при подаче и укладке смеси в опалубку, включая операции заглаживания, гидро- и теплоизоляции поверхности конструкции.

Уточняется значение температуры разогрева бетонной смеси с учетом всех теплотерь:

$$t''_{\text{раз}} = t_{\text{раз}} + (t_{\text{раз}} - t'_{\text{раз}}). \quad (3)$$

Значение средней температуры бетона за период твердения с учетом всех теплотерь на отогрев рассчитывается по формуле:

$$t'_{\text{сп}} = t_{\text{БК}} + \frac{t''_{\text{раз}} - t_{\text{БК}}}{1,03 + 0,181M_n + 0,006 \cdot (t''_{\text{раз}} - t_{\text{БК}})}. \quad (4)$$

Уточняется продолжительность остывания бетона в опалубке по известной формуле Б.Г. Скрамтаева — С.А. Миронова:

$$\tau_{\text{ост}} = \frac{c_{\text{б}} \rho_{\text{б}} (t''_{\text{раз}} - t_{\text{БК}}) + \zeta \cdot \Theta}{3,6K_{\text{т}} M_n (t'_{\text{сп}} - t_{\text{н.в}})}. \quad (5)$$

Далее вычисляется коэффициент теплопередачи опалубки бетонируемой конструкции:

$$K_{\text{т}} = \frac{F_1 K_{\text{т}1} + F_2 K_{\text{т}2} + \dots + F_n K_{\text{т}n}}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}. \quad (6)$$

После этого идет проверка соответствия полученных значений, обеспечивающих набор требуемой критической прочности бетона.

При необходимости ускорения набора прочности бетона выполняется корректировка состав бетона: меняются расход цемента, количество вводимых добавок и т. п., а также предусматривается отогрев основания (арматуры, опалубки) для снижения потерь тепла в бетоне, выбирается опалубка с меньшим коэффициентом теплопередачи.

При необходимости рассчитывается значение  $K'_{\text{т}}$ , обеспечивающее в конкретных условиях производства работ требуемую продолжительность остывания и достижение критической прочности бетона:

$$K'_{\text{т}} = \frac{c_{\text{б}} \rho_{\text{б}} (t'_{\text{раз}} - t_{\text{БК}}) + \zeta \cdot \Theta}{3,6M_n (t'_{\text{сп}} - t_{\text{н.в}}) \cdot \tau_{\text{ост}}}. \quad (7)$$



Значения коэффициента теплопередачи опалубки конструкции в зависимости скорости ветра определяется на основе данных, введенных в программу из [2].

Значение коэффициента теплопередачи у наружной поверхности опалубки принимают по [2] в зависимости от скорости ветра, введенной пользователем и полученной из метеопрогноза.

Толщину слоя используемого утеплителя опалубки, обеспечивающего значение  $K'_T$ , программный модуль вычисляет по формуле:

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left[ \frac{1}{K'_T} - \left( \frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right]. \quad (8)$$

**Заключение.** Использование представленного программного обеспечения позволит проектировать состав бетона и выбирать режим его твердения, который обеспечит достижение требуемой прочности и избавит инженера-технолога от необходимости проводить большой объем экспериментальной работы для оптимизации параметров твердеющего монолитного бетона.

Авторами ведется дальнейшее совершенствование и апробация математической модели, взаимно увязывающей технологическую (кинетика изменения характеристик бетона) и теплотехническую (текущая температура окружающей среды и способы подвода тепла) стороны процесса твердения монолитного бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пауэрс, Т. Физические свойства цементного теста и камня / Т. Пауэрс // в кн.: Четвертый Международный конгресс по химии цемента. – Москва: Стройиздат, 1964. – с. 402–438.
2. Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства работ: ТКП 45-5.03-21-2006 (02250): Технический кодекс установившейся практики. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2006. – 103 с.
3. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – Москва: Стройиздат, 1981. – 464 с.
4. Батыновский, Э.И., Голубев, Н.М., Бабицкий, В.В., Марковский, М.Ф. Технология зимнего монолитного бетонирования / Э.И. Батыновский, Н.М. Голубев, В.В. Бабицкий, М.Ф. Марковский. – Мн: БНТУ, 2005. – с. 41–52.

УДК 666:941; 693.54

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВВЕДЕНИЯ В БЕТОН УГЛЕРОДНОГО НАНОМАТЕРИАЛА

*О.Ю. Марко<sup>1</sup>, Э.И. Батяновский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Белорусско-Российский университет, Могилев

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: sheyda@mail.ru, but47@tut.by

*В материале статьи изложены результаты исследований влияния отечественной комплексной химической добавки («УКД-1»), содержащей структурированный углеродный наноматериал (УНМ) и характеризующейся совмещенным (ускоряющим твердение и пластифицирующим) эффектом, на продукты реакции цемента с водой. С целью выявления роли углеродного наноматериала (УНМ) исследовали пробы цементного камня без добавок и содержащие ускоряющий компонент (1% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> или СН), комплексную добавку (0,5% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 0,5% СП), включающую оба эти компонента, но не содержащую УНМ, а также пробы с добавкой «УКД-1» (0,35 % СП+0,6 % СН+0,05% УНМ). Выявлены закономерности роста прочности тяжелого цементного бетона под влиянием отдельно взятого ускоряющего компонента добавки «УКД-1» и этой добавки, в зависимости от ее дозировки (в диапазоне (0,5...2,0) % от массы цемента).*

**Ключевые слова:** комплексная химическая добавка, сульфат натрия, суперпластификатор, углеродный наноматериал, цемент, бетон, ускорение твердения.

## EFFICIENCY OF INTRODUCING CARBON NANOMATERIALS IN CONCRETE

*O. Marko<sup>1</sup>, E. Batyanovsky<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Belarusian-Russian University, Mogilev

<sup>2</sup>Belarusian national Technical University, Minsk

e-mail: sheyda@mail.ru, but47@tut.by

*The results of researches of influence of domestic complex chemical additive («UKD-1»), containing the structured carbon nanomaterial (CNM) characterized by the combined (the accelerating curing and plasticizer) effect on kinetics of curing of concrete in technology of monolithic concreting technology without warming up are expounded in the article. To identify the role of carbon nanomaterial, tested the samples, including the «original cement»; samples, containing the accelerating component (1% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); complex additive (0,5% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 0,5% SP), that includes both of these components, but not containing CNM, and samples with the addition of «UKD-1» (0,35 % SP+0,6 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0,05% CNM). Has revealed the regularities of growth of the strength of heavy cement concrete under the influence of the separately taken accelerating component of the additive «UKD-1» and this additive, depending on the dosage (in the range (0,5 ... 2,0) % of the mass of cement).*

**Keywords:** complex chemical additive, sodium sulfate, carbon nanomaterial, cement, concrete, hardening acceleration.

**Введение.** В научной литературе последних 10...15 лет проявляется большой интерес к использованию ультрадисперсных твердофазных углеродных наноматериалов в строительном материаловедении. Это отражено в ряде публикаций разных авторов [1-6 и др.]. Анализ этих источников показывает, что исследования на «постсоветском» пространстве и за рубежом выполняются с использованием углеродных наноматериалов в виде многослойных нанотрубок (в основном французского производства), характеризующихся поперечным сечением от 70 до 170 нм, что исключает эффект наноармирования структуры кристаллогидратных новообразований затвердевшего цементного камня (сечения пор  $\leq 4...5$  нм по общепризнанным данным). При этом весь объем исследований фактически сосредоточен на одном варианте введения трубчатых УНМ в цементное тесто, в виде дисперсий после высокоактивной и продолжительной (до  $\geq 60$  мин) гидроактивационной обработки. Вместе с тем известно, что УНМ отечественного производства – полидисперсное вещество, содержащее структурированный углерод в виде сочетания ультрадисперсных наночастиц до 5 %, до 45 % однослойных и до 45 % многослойных трубок с примесью до 1,5 % дисперсных частиц металла и до 5 % аморфного углерода. Такое сочетание разноразмерных составляющих УНМ проявляет более высокую эффективность, чем многослойные нанотрубки [7], что подтверждено и в наших исследованиях, отраженных в материале настоящей статьи.

**Теоретические аспекты эффективности УНМ** и ее экспериментальное обоснование при использовании отечественных УНМ впервые дано в работах кафедры «Технология бетона и строительных материалов» БНТУ в 2009...2011 г.г. [8-11].

Химические реакции и физико-химические превращения в твердеющей системе цемент – вода протекают при низких положительных температурах в диапазоне 15-25°C (нормальные условия) и повышенных температурах, но не более 80-90°C. В этих условиях темп их развития зависит от степени дисперсности реагирующих твердофазных компонентов (в частности, от размеров частиц вяжущего и дополнительно вводимых твердофазных веществ), так как с ростом дисперсности возрастает и энергия поверхности, и химико-физическая активность твердой фазы.

Удельная поверхность открытых и закрытых нанотрубок, определенная методом физической сорбции  $N_2$  при  $T = -196$  °C, оказалась равной 21 и 36  $m^2 \cdot g^{-1}$  соответственно и достигла 450  $m^2 \cdot g^{-1}$  для внутренней поверхности структур из нанотрубок [12]. Следует ожидать, что удельная поверхность коротких трубок или сферообразных многогранников УНМ будет не менее 450  $m^2 \cdot g^{-1}$ , а такие частицы характеризуются значительным сосредоточенным в малом объеме зарядом поверхностной энергии.

Для сравнения приведем требования действующего стандарта в отношении удельной поверхности широко применяемой добавки в цементные бетоны – микрокремнезема (аморфный  $SiO_2$ ), которая должна быть не ниже 15  $m^2 \cdot g^{-1}$  (фактически соответствует 15-25  $m^2 \cdot g^{-1}$ ). Удельная поверхность частиц промышленно производимого и применяемого в строительстве портландцемента (кроме вяжущих специального назначения) составляет  $S_{уд} \sim 1,5 m^2 \cdot g^{-1}$  при определении методом адсорбции паров азота, что соответствует  $\sim 0,3 m^2 \cdot g^{-1}$  для наиболее широко применяемого метода ее оценки по воздухопроницаемости при атмосферном давлении (приборы типа ПСХ).

С позиций эффективного воздействия УНМ на процессы структурообразования, твердения и на прочность цемента (соответственно цементного бетона как базового

строительного материала) особое значение приобретают высокая потенциальная энергия ультрадисперсных УНМ и их свойство формировать тончайшие волокна значительной (до десятков микрон) длины в определенных условиях получения.

В первом варианте эффективность введения вещества УНМ в цемент и цементные композиции в целом основывается на понижении энергетического порога начала образования кристаллогидратов из водного раствора, насыщенного ионами клинкерных минералов цемента как результата его взаимодействия с водой затворения. Таким образом, в этом случае используется высокий уровень энергии поверхности частиц УНМ, которые могут служить центрами кристаллизации, ускоряя процесс образования кристаллогидратов и обеспечивая повышение темпа роста прочности цементного камня. По классификации Ратинова-Розенберг [13] такие вещества относят к добавкам третьего класса (кристаллические затравки). Их эффективность известна (добавки-кренты) с 60-х годов XX века [14] и в наибольшей мере реализуется в современных условиях при использовании микрокремнезема [15-17]. Однако при этом дозировка или расход данной добавки составляет порядка 10 % от массы цемента (МЦ) и для обеспечения максимальных результатов достигает 30 % от МЦ.

Особенность и уникальность применения вещества УНМ, характеризующегося высоким потенциалом поверхности ультрадисперсных частиц, заключается в достижении положительного результата, выраженного ростом прочности цементного камня и бетона, при дозировках в сотых и даже тысячных долях процента от массы цемента [8-11].

В несколько ином аспекте проявляется эффективность волокнообразных трубчатых УНМ. Их особенностью является значительная длина [12] при малых размерах поперечного сечения, которое может быть в диаметре менее 1 нм. Такой волокнообразный материал, характеризующийся значительной прочностью на растяжение, может оказать большое влияние на прочностные характеристики цементного камня и бетона.

Присутствие таких тончайших волокон в твердеющем цементном камне создает условия для эффекта «наноармирования» структуры новообразований в виде спонтанно формирующейся системы гидроокислов клинкерных минералов ( $n_1\text{CaO} \cdot m_1\text{SiO}_2 \cdot p_1\text{H}_2\text{O}$ ;  $n_2\text{CaO} \cdot m_2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot p_2\text{H}_2\text{O}$ ;  $n_3\text{CaO} \cdot m_3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot p_3\text{H}_2\text{O}$  и др.). Малые поперечные размеры нанотрубок при длине, значительно превышающей размеры собственно кристаллогидратов силикатов, алюминатов и ферритов кальция, соответствующих порядка 8,0-25,0 нм, обеспечивают необходимые предпосылки для «защемления» волокон в межплоскостных пространствах соседних поверхностей множества кристаллогидратов, что сопровождается эффектом армирования нано- и микроструктуры новообразований затвердевшего цементного камня. Следствием этого является рост его прочности на растяжение и сжатие, что отражено в результатах экспериментальных исследований Э.И. Батыновского, П.В. Рябчикова, В.Д. Якимовича, А.В. Крауклиса, Петра П. Самцова, Павла П. Самцова, выполненных по заданию академиков С.А. Жданка и Б.М. Хрусталева [8-11].

**Введение и равномерное распределение в объеме бетона** небольших количеств тонкодисперсного твердофазного УНМ (~0,005...0,0005% от МЦ) представляет собой сложную задачу, которую в исследованиях [9-11] решали разными приемами. В частности, введением с водой затворения при интенсивном предварительном перемешивании; при домоле совместно с применяемым цементом; предварительным смешиванием с песком либо микрокремнеземом (используя эффект фиксации частиц УНМ, характеризующимися положительным зарядом поверхности, на отрицательно «заряженных»

участках поверхности этих материалов); эжекцией (распылением сжатым воздухом) расчетного количества УНМ, распределяя его по поверхности приготавливаемого замеса бетона; при помоле с клинкером на стадии изготовления цемента. Согласно выводам авторов работ [9-11] наиболее целесообразно (с учетом большей эффективности в цементе (бетоне)) введение УНМ на стадии помола клинкера (в случае изготовления специального цемента, содержащего УНМ), а для приготовления бетона (растворов) наиболее равномерное распределение УНМ (оцениваемое по уровню роста прочности мелкозернистого и традиционного бетона с крупным заполнителем) достигнуто при предварительном высокоинтенсивном смешивании его с песком или кремнеземом.

В развитие такого подхода и исходя из гипотезы об усилении действия традиционных химических добавок за счет введения в их состав углеродного наноматериала (т.е. дополнение эффективности химических добавок воздействием УНМ на твердеющий цемент (бетон)) была предложена комплексная углеродосодержащая добавка «УКД-1» [18]. Исходной предпосылкой являлось предположение, что равномерное распределение вещества УНМ будет обеспечено за счет того, что его частицы «осядут» на отрицательно «заряженной» поверхности ускоряющего твердения компонента (сульфата натрия) и при растворении добавки равномерно распределятся в воде затворения, а с ней и в приготавливаемом бетоне. Как будет показано далее в экспериментальных исследованиях данное предположение полностью оправдалось.

**Кинетика твердения и прочность цементного камня.** Влияние добавки «УКД-1» и ее ускоряющего (СН) и пластифицирующего (СП) компонентов на кинетику твердения цемента исследовали, оценивая изменение прочности цементного камня во времени. Для проведения испытаний использовали портландцемент ПЦ500-Д20. Цементное тесто нормальной густоты готовили по методике ГОСТ 310.3; при введении добавок с пластифицирующим эффектом уменьшали начальное водосодержание до консистенции цементного теста, соответствующей тесту нормальной густоты. Образцы-кубы с ребром 20 мм изготавливали в 18-гнездных формах.

При этом одна партия образцов не подвергалась дополнительному разогреву, а вторую – после предварительной выдержки в течение 2 ч, разогревали в формах (в бачке над подогреваемой водой) до температуры  $\approx 50^\circ\text{C}$  в течение 1,5 ч, а затем образцы остывали в бачке и через 21...22 ч после изготовления их распалубливали. Часть образцов (не менее 6 шт. в серии) испытывали в возрасте 24 ч, а остальные твердели до испытаний в помещении лаборатории, гидроизолированными полиэтиленовой пленкой или в воде. Особенностью эксперимента была пониженная температура среды (воды), равная 10...12 $^\circ\text{C}$  (по фактическим условиям испытательной лаборатории).

Указанные режимы твердения образцов цементного камня приняты, во-первых, с целью максимально исключить возможность изменения начального водосодержания цементного камня в процессе твердения, а во-вторых, имитировать начальным прогревом условия твердения цементного бетона при использовании малоэнергоемкой технологии, которая включает период разогрева бетона с последующим твердением без подвода тепла [19 и др.].

Результаты экспериментов с оценкой кинетики изменений прочности цементного камня, твердевшего в разных условиях, представлены в таблице 1. Каждое единичное значение прочности (приведена в относительной (%) величине) получено как среднее арифметическое не менее 3...6 образцов в серии. При этом отклонение от-

дельных значений в серии не превышало 15% от среднего в этой серии. На начальном этапе этих экспериментов (составы №№2...5; 7...10; 12\*...15\*) оценили влияние пластифицирующего и ускоряющего твердение цемента компонентов на кинетику роста прочности цементного камня. Одновременно из этих образцов (после их испытаний) отбирали пробы для последующей оценки количества химически связанной воды (ХСВ) цементом и возможных изменений в морфологии продуктов его гидратации рентгенофазовым анализом. Для компонента углеродные наноматериалы эти исследования выполнены и отражены в источнике [9].

Таблица 1. – Составы цементного теста и относительная прочность (%) образцов цементного камня

№ состава	Расходы, г (% от МЦ)			K <sub>нг</sub>	ΔВ, г	Условия твердения		Прочность в % от R <sub>28</sub> <sup>ЦК</sup> в возрасте, сут:			
	В	Ц	Добавка			НВУ	В воде	1	3	7	28
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	102	400	–	0,255	–	+	–	50	81	92	100
2	102	400	1,0% СН	0,255	–	+	–	67	92	102	110
3	102	400	0,5% СН	0,255	–	+	–	66	90	97	107
4	80	400	0,5% СП	0,200	22	+	–	30	73	94	102
5	80	400	0,5% СН + 0,5% СП	0,200	22	+	–	58	86	101	111
6*	102	400	–	0,255	–	+	–	52	87	93	101
7*	102	400	1,0% СН	0,255	–	+	–	67	89	99	104
8*	102	400	0,5% СН	0,255	–	+	–	66	86	99	103
9*	80	400	0,5% СП	0,200	22	+	–	35	78	94	101
10*	80	400	0,5% СН + 0,5% СП	0,200	22	+	–	59	89	101	110
11*	102	400	–	0,255	–	–	+	57	88	94	103
12*	102	400	1,0% СН	0,255	–	–	+	68	89	101	109
13*	102	400	0,5% СН	0,255	–	–	+	67	88	100	105
14*	80	400	0,5% СП	0,200	22	–	+	37	80	95	107
15*	80	400	0,5% СН + 0,5% СП	0,200	22	–	+	60	89	101	116
16	84	400	1%УКД-1	0,210	18	–	+	64	99	119	121
17	82	400	1%УКД-1	0,205	20	–	+	67	108	127	145
18	82	400	1%УКД-1	0,205	20	+	–	–	–	–	139
19	96	400	0,5%УКД-1	0,240	6	+	–	–	–	–	121
20	88	400	0,75%УКД-1	0,220	14	+	–	–	–	–	133
21	76	400	1,5%УКД-1	0,190	26	+	–	–	–	–	148

Примечания:

1. \*с нагревом за 1,5 часа до температуры 50°C и остыванием в бачке (~ 22 ч).

2. № 16 – после хранения «УКД-1» в течение года в помещении; №№ 17...21 – 45...60 сут. после изготовления.

В развитие этих экспериментов на сериях образцов №№ 16...21 определили кинетику изменений (роста) прочности цементного камня при различающейся дозировке добавки «УКД-1» (№№ 18...21) и сроков ее хранения до применения (№16 – в течение года; №17 – 7...14 дней; №№18...21 – 45...60 суток). Из ряда этих образцов также готовили пробы для определения количества ХСВ и проведения рентгенофазового анализа.

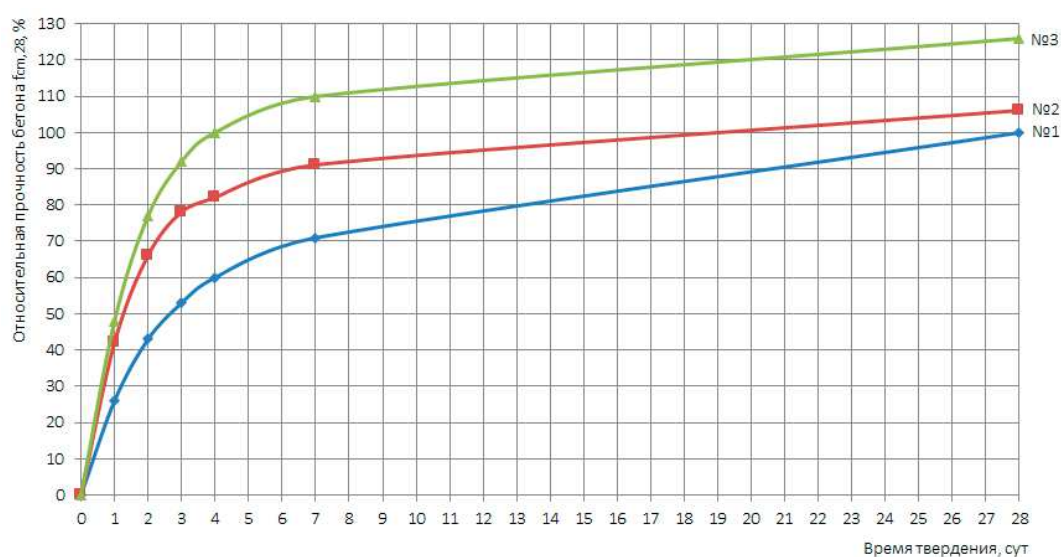
Обобщение данных таблицы 1 (и не приведённых в статье результатов экспериментов) позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, очевидно, что ускоряющий компонент – добавка СН и комплексная, включающая СП + СН, обеспечивают стабильный рост прочности цементного камня. Но наибольшую эффективность проявляет комплексная добавка «УКД-1», содержащая эти компоненты и углеродный наноматериал, усиливающий действие сульфата натрия. Ее эффект проявляется в значительном повышении темпа роста прочности цементного камня за счет сочетания понижения водосодержания цементного теста и совокупного ускоряющего эффекта от сульфата натрия (имеющего химико-физическую природу и в итоге проявляющегося в уплотнении структуры цементного камня за счет взаимодействия в продуктах гидролиза-гидратации цемента [13]), а также от ультрадисперсных частиц УНМ, проявляющих эффект «центров кристаллизации», что способствует ускоренному формированию (и в большом количестве) кристаллогидратных новообразований, а в итоге – росту прочности цементного камня.

Эффективность вещества УНМ подтверждается сопоставлением результатов экспериментов №5; №15\* (введена комплексная добавка: 0,5% СП + 0,5% СН, т.е. 1% этой добавки от МЦ) и №16; №18 (содержит 1% «УКД-1»). При практически равном начальном водосодержании ( $K_{нг} \sim const$ ) цементного теста (снижение за счет пластифицирующего эффекта этих добавок) прочность образцов с «УКД-1» к 28 суткам была выше на ~28% (№5 и №8) и на ~15% (№15 и №16), при прочих равных условиях. Это подтверждает предположение об усилении веществом УНМ действия ускорителя твердения – сульфата натрия, входящего в состав комплексной добавки «УКД-1».

Из результатов экспериментов следует, что при хранении «УКД-1» в течение 60 суток ее эффективность практически не изменяется; хранившаяся в течение 1 года добавка (№16 и №18) проявляет пластифицирующий и ускоряющий эффект, но со снижением их примерно на  $\geq 5\%$ , что следует учитывать при работе с ней.

**Кинетика твердения бетона с добавкой в нормально-влажностных условиях.** Составы бетона с добавкой ускорителем твердения сульфатом натрия (СН) приняты для оценки (сравнения) эффективности исследуемой добавки «УКД-1». Известно, что монодобавка сульфата натрия может обеспечить реализацию весьма эффективных по затратам энергии технологий изготовления сборных изделий [19 и др.] и сопоставление (при прочих равных условиях) результатов сравнительных экспериментов позволит выявить уровень эффективности добавки «УКД-1».

На рисунке 1 частично представлены данные экспериментов в виде графиков, отображающих общую тенденцию кинетики твердения (роста прочности) бетона класса С12/15 без добавок (№1) и с добавками 1% СН и 1% «УКД-1».



№1 – бетон без добавок; №2 – с 1% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; №3 – с 1% «УКД-1»

Рисунок 1. – Тенденция кинетики твердения бетона в нормально-влажностных условиях

Экспериментально установлено, что при кратковременном (за 1,5-2 часа) нагреве бетона (классов С12/15 – С25/30), до температуры 50°С и дальнейшем твердении его в утепленной опалубке (по методу «термоса») обеспечивается прочность до 75...95 % (от прочности проектного возраста) в пределах 24 ч твердения при температуре наружного воздуха  $t_{нв} = \pm 5...-20^{\circ}\text{C}$  (данные частично приведены в таблице 2), что позволяет значительно снизить энергетические затраты при ведении бетонных работ в зимний период.

**Заключение.** Результаты экспериментов (включая не приведённые в статье) подтверждают эффективность в бетоне комплексной добавки «УКД-1». Одновременно следует отметить, что, несмотря на снижение водосодержания бетона в равноподвижных смесях с введением добавки «УКД-1» в дозировке 0,5%...0,75% от МЦ, прочность в начальные сроки (1...2 суток) твердения была близкой к величине по отношению к бетону с 1% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Очевидно, что этот эффект связан с замедляющим реакции цемента с водой действием пластифицирующего компонента «УКД-1». Однако, общий уровень прочности образцов бетона с добавкой «УКД-1» оказался выше, чем образцов с 1% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, несмотря на то, что ускоряющего компонента (того же Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) в «УКД-1» при ее дозировке 0,5%...1,0% от МЦ заведомо меньше. Отсюда следует вывод о дополнительном эффекте ускорения твердения, отраженном в росте прочности цементного бетона, «присадкой» структурированного углеродного наноматериала, содержащегося в добавке «УКД-1». По результатам экспериментов прочность бетона с добавкой «УКД-1» (за счет совокупного эффекта от снижения водосодержания и действия компонентов Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и УНМ) составила от 112% (0,5% «УКД-1») до 130% (2,0% «УКД-1») от прочности образцов бетона из равноподвижных смесей без добавок.

Однозначно эффективен вариант твердения бетона с добавкой «УКД-1» по принципу «горячего термоса», включая зимние условия ведения бетонных работ в монолитном строительстве.



Таблица 2. – Кинетика роста прочности бетона с начальным разогревом и твердением в условиях термоса

Температура разогрева бетона, °С	Характеристики бетона		Наличие и вид добавки	Номер формы	Прочность бетона в % от $f_{cm, 28}$ после термостатической выдержки, час			Температура бетона образцов через 24 ч твердения	
	номер состава по таб-лице 2	класс бетона			12	18	24		через 28 суток твердения в камере с НВР*
1	2	3	4	5	6	7	8	10	
А. Температура наружного воздуха: $t_{нв} \sim 5^\circ\text{C}$									
30	1	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	–	1	26	35	42	101	19
	5	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	«УКД-1»	1	42	55	63	104	23
	7	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	«УКД-1»	1	46	53	65	–	–
30	1	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	–	4	25	39	44	101	21
	5	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	«УКД-1»	4	63	72	80	106	29
	7	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	«УКД-1»	4	65	71	82	105	–
50	1	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	–	1	35	45	55	103	–
	5	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	«УКД-1»	1	55	66	74	105	24
	7	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	«УКД-1»	1	55	68	77	108	–
Б. Температура в камере хранения: $-20^\circ\text{C}$									
30	5	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	«УКД-1»	4	40	44	50	110	13
	7	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	«УКД-1»	4	40	46	50	110	–
50	5	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	«УКД-1»	4	59	66	73	105	22
	7	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	«УКД-1»	4	60	66	75	108	–
В. Температура в камере хранения: $-20^\circ\text{C}$ , модуль поверхности блока образцов $M_n \sim 18 \text{ м}^{-1}$									
30	5	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	«УКД-1»	4**	53	63	65	108	21
	7	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	«УКД-1»	4**	54	61	68	109	–
50	5	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	«УКД-1»	4**	75	84	95	105	37
	7	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	«УКД-1»	4**	78	85	98	106	–

Примечания: в камере с нормально-влажностным режимом твердения: 1 – формы из доски  $\delta = 25 \text{ мм}$ ; 4 – формы из фанеры  $\delta = 12 \text{ мм}$ , утепленные минватой; 4\*\* – блок-форма из фанеры, под общим колпаком при  $K_T \sim 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Староверов, В.Д. Структура и свойства наномодифицированного цементного камня: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05. / В. Д. Староверов; ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет». – СПб., 2009. – 20 с.
2. Пудов, И.Н. Наномодификация портландцемента водными дисперсиями углеродных нанотрубок: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05/И.Н. Пудов; ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». – Казань, 2013. – 22 с.
3. Петрунин, С.Ю. Повышение прочности бетона углеродными нанотрубками с применением гидродинамической кавитации: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05 / С.Ю. Петрунин; ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». – М., 2015. – 20 с.
4. Соловьева, Т.А. Эффективные цементные композиции, модифицированные углеродными материалами: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05 / Т. А. Соловьева; Волгогр. Гос. архитектурно-строит. ун-т. – Волгоград, 2015. – 18 с.
5. Shah, S. P. Nanoscale modification of cementitious materials / S. P. Shah, M. S. Konsta-Gdoutos, Z. S. Metaxa, P. Mondal // In: Bittnar Z., Bartos P. J. M., Nemecek J., Smilauer V., Zeman J., editors. Nanotechnology in construction: Proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in onstruction). – Prague, Czech Republic, 2009. – P. 125–130.
6. Saez de Ibarra, Y. Atomic force microscopy and nanoindentation of cement pastes with nanotube dispersions/ Y. Saez de Ibarra, J.J. Gaitero, E. Erkizia, I. Campillo // Phys. Status. Solidi. – 2006. V. 203. – № 6. – P. 1076–1081.
7. Рябчиков, П.В. Технология и физико-технические свойства тяжелого бетона, модифицированного углеродными наноматериалами. автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05/ П.В. Рябчиков; Минск, 2017. – 23 с.
8. Жданок, С.А., Хрусталева, Б.М., Батыновский, Э.И., Леонович, С.Н. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы. Журнал «Вестник БНТУ». – № 3. – 2009. – С. 5-22.
9. Батыновский, Э.И., Крауклис, А.В., Самцов, Петр П., Рябчиков, П.В., Самцов, Павел П. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня. Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». – 2010. – №1-2(28-29). – С. 3-10.
10. Батыновский, Э.И., Якимович, В.Д., Рябчиков, П.В. Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая нанокремнекислотные добавки. Сборник материалов III международного симпозиума «Проблемы современного бетона и железобетона». – Минск, РУП «БелНИИС». – 2011. – С.53-68. (Т.2).
11. Батыновский, Э.И., Галузо, Г.С., Мордич, М.М. Особенности применения углеродных наноматериалов в конструкционно-теплоизоляционных пенобетонах. Сборник материалов Девятой международной научно-технической конференции «Наука - образованию, производству, экономике». – Минск, БНТУ. – 2011. – С.272-273.
12. Елецкий, А.В. Сорбционные свойства углеродных наноструктур // Успехи физ. наук. – 2004. – Т. 174, № 11. С. 1191-1231.
13. Ратинов, В.Б., Розенберг, Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
14. Вавржин, Ф., Крмча, Р. Химические добавки в строительстве. – М.: Стройиздат, 1964. – 288 с.

15. Ma J. // LACER, 2002. – № 7.
16. Каприелов, С.С. и др. В сб. Тр. Проблемы соврем. бет. и ж/бетона. – Мн.: 2007. – С. 105-120.
17. Чернышов, Е.М., Коротких, Д.Н. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – М.: 2008. – № 5. – С. 30–32.
18. Техническое свидетельство пригодности материалов и изделий для применения в строительстве. ТС 01.2093.14. Комплексная добавка для бетона «УКД-1». Дата регистрации: 10.01.2014 г. Действительно до 10.01.2019 г. Выдано РУП «Сройтехнорм» Минстройархитектуры РБ. – 8 с (с приложениями).
19. Батяновский Э.И., Иванова Е.И., Осос Р.Ф. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона // Строительная наука и техника. – 2006. – №3(6). – С. 7-17.

УДК 666.972; 693.54

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННОГО БЕТОНА С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ

*Н.С. Гуриненко, Э.И. Батяновский*

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: ngurinenko@gmail.com

*В статье представлены результаты исследований, целью которых являлась разработка полифункциональной добавки в бетон, содержащая в своем составе «гиперпластификатор», ускоряюще-уплотняющий компонент и ультрадисперсный микрокремнезем, обеспечивающая повышение темпа и уровня роста его прочности при снижении энергетических затрат на ускорение процесса твердения, как базы для снижения энергоемкости производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций. С использованием стандартизованных методик испытаний экспериментально подтверждена эффективность полифункциональной добавки, выразившаяся в росте плотности и качественных характеристик и свойств конструкционного тяжелого бетона: прочности на сжатие до 40...60 %, росте морозостойкости с марки F 250 до F 500, водонепроницаемости с W 6...8 до W 20 за счет снижения проницаемости бетона.*

**Ключевые слова:** цемент, бетон, ультрадисперсный микрокремнезем, микрокремнезем, твердение, цементный камень, структура, прочность, свойства.

### FEATURES OF TECHNOLOGY STRUCTURAL CONCRETE WITH POLYFUNCTIONAL ADDITIVE

*N. Gurinenko, E. Batyanovskiy*

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: ngurinenko@gmail.com

*The article presents the results of research aimed at developing a new semi-functional additive in concrete containing a composition of plasticizer, an accelerating-sealing component and ultrafine silica fume, which provides an increase in the rate and level of growth of its strength while reducing energy costs to accelerate the hardening process, as a basis for reducing the energy intensity of concrete and reinforced concrete products and structures. Using standardized testing methods, the effectiveness of a multifunctional additive was experimentally confirmed, expressed in the growth of quality characteristics and properties of structural heavy concrete: compressive strength up to 40...60%, the increase in frost resistance from brand F 250 to F 500, water resistance from W6...8 to W20 by reducing the permeability of concrete.*

**Keywords:** cement, micro silica, micro silica ultra dispersible, hardening, cement stone, structure, strength, properties, concrete.

**Введение.** В современных условиях, несмотря на возросшее качество и наличие широкого выбора добавок в бетон, характеризующихся мононаправленным действием (например, ускорители твердения, пластификаторы, уплотняющие структуру и т.д.), все более широко и с большей эффективностью используются добавки полифункционального действия. При этом наибольший эффект достигается сочетанием химических высокоэффективных пластифицирующих и ускоряющих твердение веществ с высокодисперсной минеральной составляющей – микрокремнеземом. Такие добавки успешно используются при производстве сборных бетонных и железобетонных изделий и при строительстве из монолитного бетона и железобетона. В частности, тех из них, которые обеспечивают повышение темпа роста прочности бетона, и позволяют снижать температуру (особенно это важно в начальный период – 24...72 часа) твердения и сокращать время подвода тепла к бетону. Это позволяет снижать в 1,5...2 раза затраты энергии на тепловую обработку изделий (конструкций) по сравнению с традиционной тепловой обработкой.

**Материалы для исследований.** В исследованиях использовали материалы: портландцемент марки ПЦ 500 по ГОСТ 10178, соответствующий классу СЕМ I 42,5 N по СТБ EN 197-1; компоненты полифункциональной добавки: ускоритель твердения – сульфат натрия (CH;  $(\text{Na}_2\text{SO}_4)$  по ГОСТ 21458-75 и уплотняющий структуру цементного камня (бетона) – сульфат алюминия (CA;  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) по ГОСТ 12966-85; заполнители для бетона – щебень гранитный традиционный фракций 5...10 и 5...20 мм (ГОСТ 8267-93) и щебень кубовидный фракций 2...4; 4...6 мм (СТБ 1311–2002); песок природный Мк ~2,6...2,8 (ГОСТ 8736-93); в качестве активного минерального компонента добавки использовали традиционный микрокремнезем МК-85 (МК), соответствующий требованиям СТБ EN 197–1–2015 и ультрадисперсный микрокремнезем (УДМК), соответствующий ТУ 2168–002–14344269–09, характеризующийся большей удельной поверхностью за счет малых размеров частиц аморфного  $\text{SiO}_2$ , а значит и большим «реакционным» потенциалом.

В качестве пластификатора использовали «Стахемент 2000-М Ж 30» (Ст), выпускаемый по ТУ ВУ 800013176.004-2011, который согласно СТБ 1112-98 относится к пластифицирующим добавкам I группы.

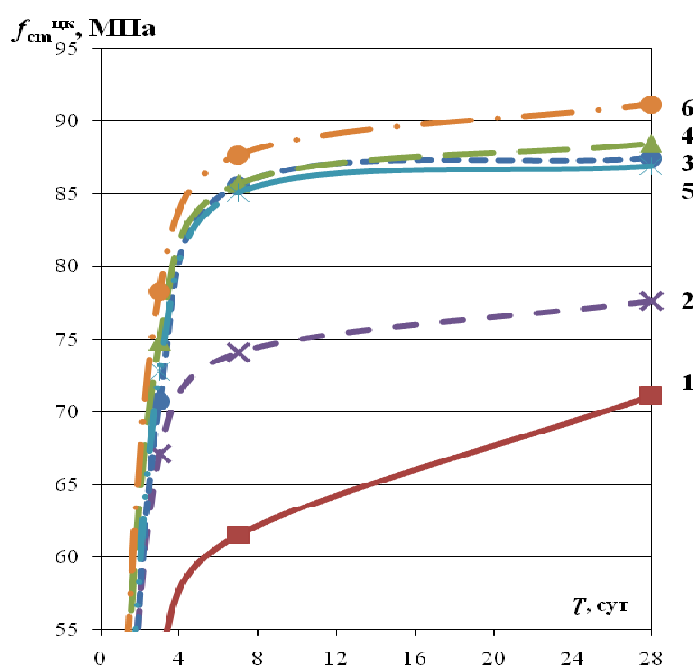
Целью исследований было получение комплексной полифункциональной добавки [1, 2], характеризующейся пластифицирующим и ускоряющим твердение бетона действием. Для ее достижения на начальном этапе исследовали кинетику роста прочности цементного камня и особенности его структурно-морфологических характеристик, выявленных с помощью рентгенофазового и дериватографического анализов, а также при оценке количества химически связываемой цементом воды и степени его гидратации.

**Свойства цементного камня.** На рисунке 1 частично представлены экспериментально выявленные изменения в кинетике твердения (в нормально-влажностных условиях) образцов (20\*20\*20 мм; 6...12 шт. в серии) цементного камня без добавки (№ 1), с добавкой пластификатора 0,5 % Ст (№2), с пластификатором и микрокремнеземом 0,5 % Ст + 10 % МК (№3), с пластификатором и ультрадисперсным микрокремнеземом в разных количествах: 0,5 % Ст + 1,0 % УДМК (№4), 0,5 % Ст + 1,5 % УДМК (№5), и полифункциональной комплексной добавкой, включающей пластификатор, ультрадисперсный микрокремнезем и ускоряюще-уплотняющую составляющую (CH + CA), в составе:

0,5 % Ст + 1,0 % УДМК + + 0,5 % СН + 0,25 % СА (№6). Все образцы были изготовлены из теста нормальной густоты ( $K_{нг} = 0,255$  дол.ед. («чистый цемент»),  $K_{нг} = 0,20$  дол.ед. (с пластификатором)).

Из результатов экспериментов (рисунок 1) очевиден эффект от комплексной полифункциональной добавки – 0,5 % Ст + 1,0 % УДМК + 0,5 % СН + 0,25 % СА, как в сравнении по темпу роста, так и по уровню прочности цементного камня.

С учетом того обстоятельства, что введение аморфного кремнезема (УДМК) в цементный камень (бетон) способствует связыванию гидроксида кальция ( $Ca(OH)_2$ ) в нерастворимые гидросиликаты кальция и может понизить за этот счет уровень щелочности среды в бетоне, было необходимо провести соответствующую оценку влияния УДМК на этот показатель.



№1 - "без добавок"; №2 - 0,5%Ст; №3 - 0,5%Ст+ 10%МК; №4 - 0,5%Ст+1,0% УДМК;  
 №5 - 0,5%Ст+1,5%УДМК; №6 - 0,5%Ст+1,0%УДМК+ 0,5%СН + 0,25%СА

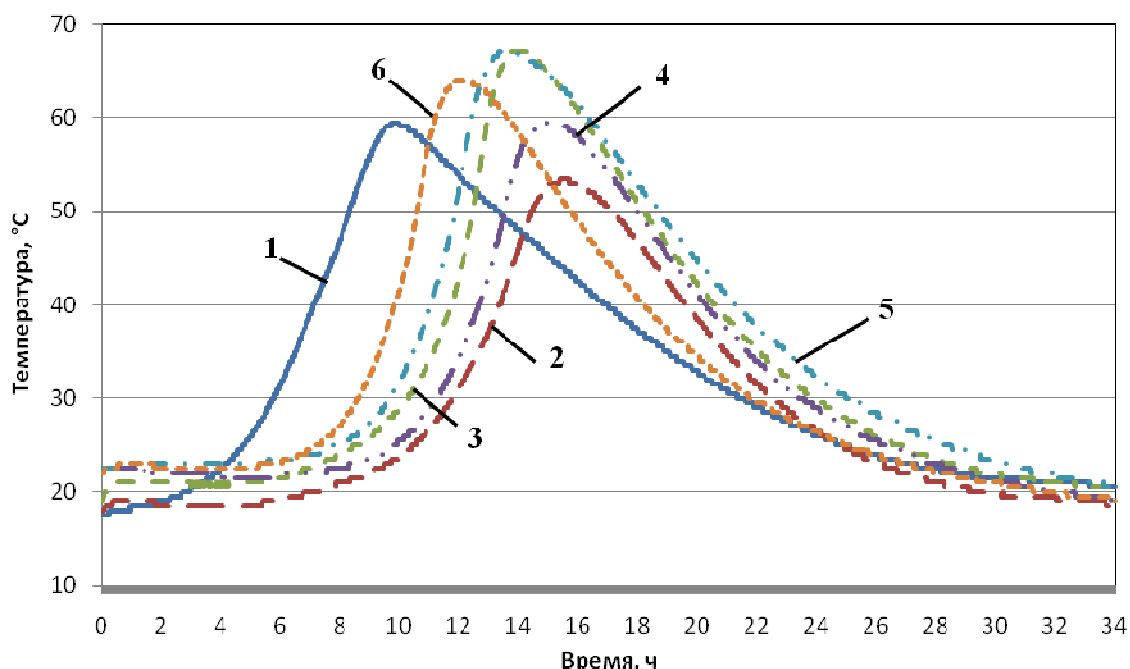
Рисунок 1. – Кинетика твердения цементного камня

Измерения проводили с помощью портативного рН-метра марки HI 83141 (таблица 1). Из данных приведенных в таблице 1 следует, что вводимое вещество (УДМК) в целом не критически снижает рН-фактор и, соответственно, при использовании УДМК в железобетоне не потребуются дополнительной защиты арматуры.

Одной из задач исследований, выполненных по методике, описанной в источнике [3], являлась оценка влияния разрабатываемой полифункциональной добавки на тепловыделение цемента, так как тепло экзотермии позволяет существенно снизить энергетические затраты на ускорение твердения бетона как в производстве сборных изделий, так и в монолитном строительстве (рисунок 2).

Таблица 1. – pH водных вытяжек образцов цементного камня

Время твердения	"Без добавок"	0,5%Ст	0,5%Ст+ 10%МК	0,5%Ст+ 1%УДМК	0,5%Ст+ 1,5%УДМК	0,5%Ст+ 1%УДМК+ 0,5%СН+ 0,25%СА
1 мин	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
2 мин	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3
10 мин	12,55	12,55	12,44	12,41	12,40	12,41
30 мин	12,55	12,55	12,44	12,41	12,40	12,41
60 мин	12,55	12,55	12,44	12,41	12,40	12,41
2 сут.	12,73	12,73	12,71	12,65	12,65	12,50
10 сут.	12,73	12,73	12,71	12,65	12,65	12,50
20 сут.	12,70	12,71	12,69	12,65	12,63	12,55
30 сут.	12,70	12,70	12,67	12,63	12,61	12,50
60 сут.	12,70	12,70	12,67	12,63	12,61	12,50



№1 - "без добавок"; №2 - 0,5%Ст; №3 - 0,5%Ст+ 10%МК; №4 - 0,5%Ст+1%УДМК; №5 - 0,5%Ст+1,5%УДМК; №6 - 0,5%Ст+1,0%УДМК+ 0,5%СН+ 0,25%СА

Рисунок 2. – Кинетика изменения температуры цементного теста

Очевидно, что введение 10 % МК (3) и 1,0 % УДМК (4), а также 1,5 % УДМК (5), характеризуется практически равенством их влияния на тепловыделение цемента и саморазогрев цементного камня, твердевшего в условиях теплоизоляции, в оцениваемых временных пределах и соблюдении правила прочих равных условий. Логично, что наибольший эффект по совокупности явлений темпа саморазогрева и уровня температуры, обеспечило введение полифункциональной добавки (6), в состав которой входит ускоряюще-уплотняющий компонент, способствующий ускорению процесса гидратации цемента.

Полученные результаты подтверждаются данными оценки степени гидратации цемента (таблица 2; рост в пробах с полифункциональной добавкой составил ~ 38 %), а также дериватографический (термогравиметрический анализатор TGA/DSC1-1/1600 HF (METTLER TOLEDO); рисунок 4) и рентгенофазовый анализы (дифрактометр D8 Advance Bruker AXS (Германия); рисунок 5) проб цементного камня.

Таблица 2. – Результаты определения степени гидратации цемента

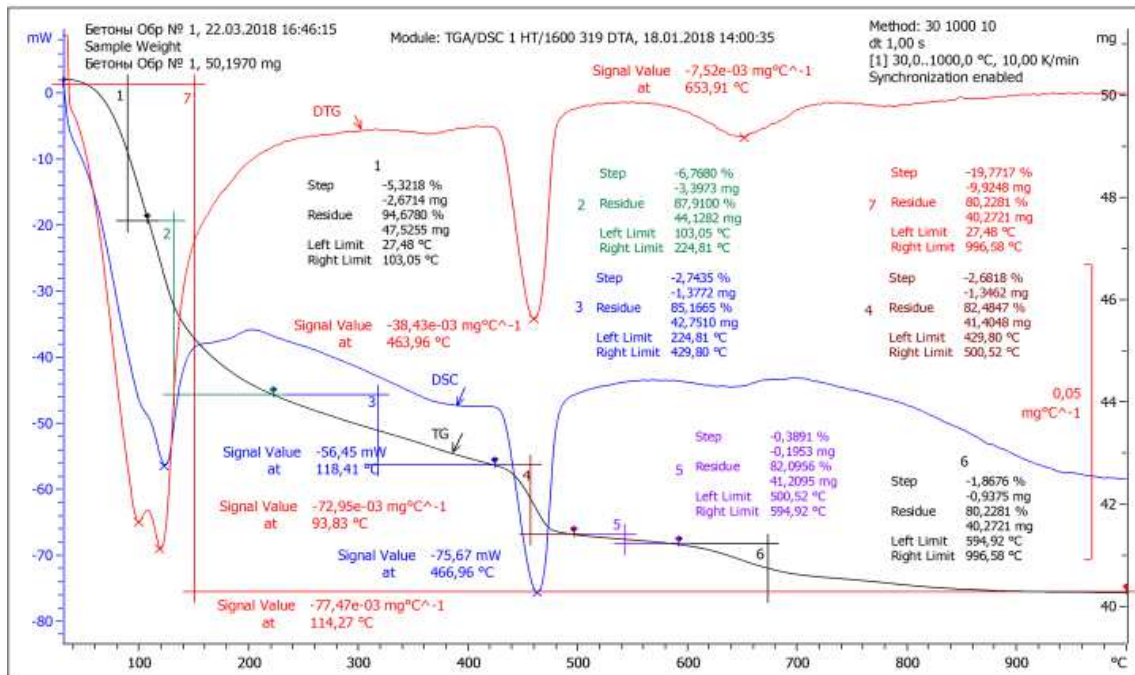
№ пробы	Состав пробы	Масса пробы, г		Кол-во химически связанной воды, дол.ед	Кол-во воды, связанное при полной гидратации цемента, дол.ед.	Степень гидратации цемента, %
		высушенной при t=105°C	прокаленной при t=700°C			
1	Без добавки	7,71	6,9	0,1174	0,227	51,71
2	0,5%Ст	6,22	5,55	0,1207		53,18
3	0,5%Ст +10%МК	6,22	5,43	0,1455		64,09
4	0,5%Ст +1,0%УДМК	8,22	7,15	0,1490		65,62
5	0,5%Ст +1,5%УДМК	8,72	7,53	0,1580		69,62
6	0,5%Ст+1,0%УДМК+ +0,5%СН+0,25%СА	8,75	7,53	0,1620		71,37

Анализ графиков «DSC» и «DTG» рисунка 3 (а) – проб «чистого» цементного камня, с рисунком 3 (б) – проб с полифункциональной добавкой, показывает, во-первых, разницу в зоне температуры ~ 110 °С, отражающей потери «свободной» (находящейся в поровом пространстве проб цементного камня) воды. Снижение показателя проб «чистого» камня составляет ~ 70 mW (мВт), а проб с добавкой ~ 60 mW (мВт), то есть существенно меньше. Это свидетельствует об уменьшении объема пор в пробах цементного камня с добавкой, т.е. о росте плотности его структуры. Во-вторых, существенно уменьшилась площадь эндотермического «пика» в зоне температуры ~ 420...480 °С, отражающего разложение гидроксида кальция (Ca(OH)<sub>2</sub>), что свидетельствует о его «связывании» аморфным SiO<sub>2</sub> с образованием гидросиликатов кальция. Как следствие, увеличилась площадь эндотермического «пика» в зоне температур ~ 650...750 °С; при этом в пробах с добавкой снижается уровень минимальной температуры разложения: с 653,91 °С (проба без добавок) до 648,91 °С для пробы с добавкой, что связано с появлением низкоосновных силикатов кальция [4, 5].

Результаты рентгенофазового анализа (в статье не приводятся) по оценке возможных изменений в морфологии продуктов гидратации цемента под влиянием веществ полифункциональной добавки подтвердили ранее полученные данные о появлении гидросиликатов кальция низкой основности CSH и увеличении количества этtringита. Кроме этого, отличие заключается в снижении количества Ca(OH)<sub>2</sub> для пробы с полифункциональной добавкой, при уменьшении отражений клинкерных минералов цемента, что свидетельствует о росте степени его гидратации и согласуются с ранее приведенными (таблица 2) данными.



a



b

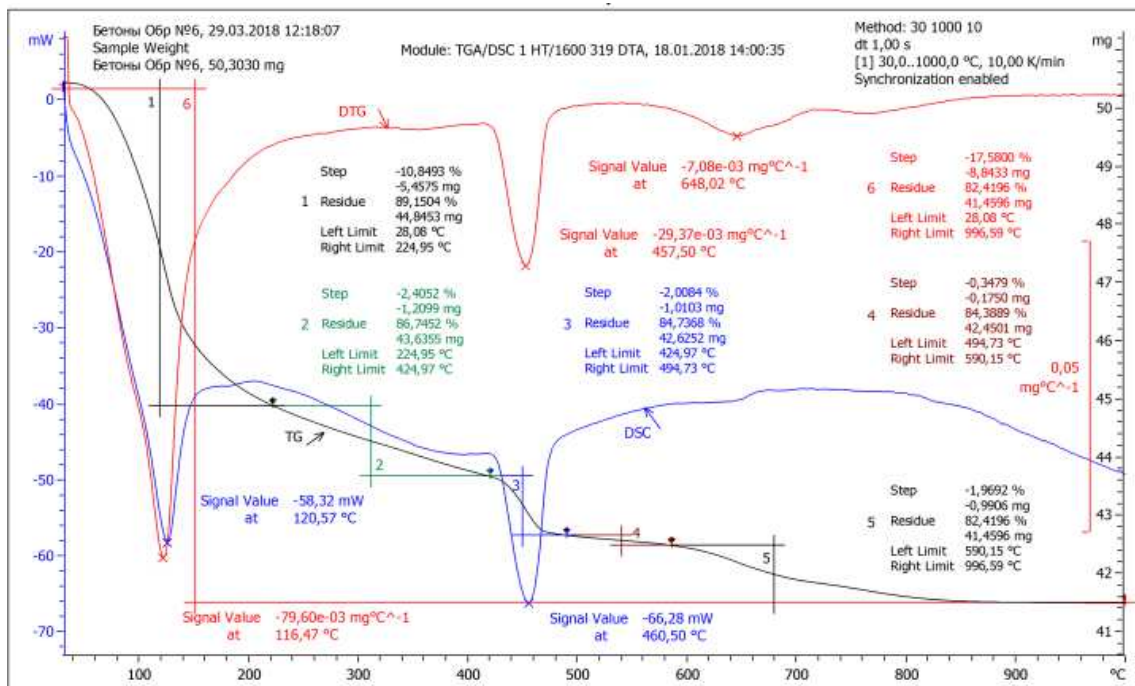


Рисунок 3. – Дериватограмма пробы «чистого» цементного камня (а) и цементного камня, содержащего 0,5%Ст+1,0%УДМК+ 0,5%СН+ 0,25%СА (б) от массы цемента

Свойства бетона. Основной задачей исследований, результаты которых представлены в таблице 3, была оценка эффективности применения разрабатываемой полифункциональной добавки в «рядовом» по прочности конструктивном тяжелом бетоне, характеризующемся расходом цемента (в данном случае марки М500 (класс

СЕМ 42,5)) в 250...450 кг на 1 м<sup>3</sup> и прочностью на сжатие менее класса С 35/45 (СТБ 1544-2005), или по абсолютной величине не более «требуемой» прочности:  $f_{cm} \leq 57,8$  МПа.

Таблица 3. – Средняя плотность и прочность на сжатие образцов тяжелого бетона при различном содержании цемента

Расход цемента, кг на 1 м <sup>3</sup>	(В/Ц) <sub>бетона</sub>	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Класс бетона*
		1 сутки		3 сутки		7 сутки		28 сутки		
А. Составы, содержащие 0,5 % Ст										
250	0,42	2510	11,7	2510	21,0	2515	31,8	2530	35,5	С 22/27,5
300	0,35	2505	12,5	2510	25,0	2510	41,3	2520	44,5	С 28/35
350	0,31	2505	14,1	2507	32,3	2515	49,0	2525	51,5	С 30/37
400	0,29	2500	15,9	2510	37,2	2510	51,5	2520	55,9	С 32/40
450	0,28	2500	16,0	2505	38,5	2510	52,0	2510	58,0	С 35/45
Б. Составы, содержащие 0,5 % Ст + 0,5 % СН + 0,25 % СА + 1,0 % УДМК										
250	0,36	2535	18,1	2545	29,8	2555	51,2	2570	59,2	С 35/45
300	0,34	2530	19,2	2540	35,1	2550	59,8	2560	68,2	С 40/50
350	0,31	2530	20,2	2540	39,4	2550	64,1	2560	71,4	С 45/55
400	0,30	2530	22,3	2542	50,2	2550	68,6	2560	75,3	С 45/55
450	0,28	2520	24,1	2540	55,1	2550	74,1	2555	80,2	С 50/60

\* класс бетона на сжатие по СТБ 1544–2005

С этой целью были изготовлены серии образцов бетона из равноподвижных бетонных смесей (П2), но при разных расходах цемента. При этом в состав вводили только пластификатор (в оптимальной дозировке, равной 0,5 % Ст от массы цемента), а в сопоставляемые – разрабатываемую полифункциональную добавку «0,5 % Ст + 0,5 % СН + 0,25 % СА + 1,0 % УДМК».

Очевидна эффективность полифункциональной добавки в бетоне, отраженная в росте его прочности во все сроки твердения, для всех вариантов состава (по расходу цемента) и при примерном равенстве водоцементного отношения составов бетона, характеризующихся равенством расхода цемента.

К изложенному следует добавить, что эффективность полифункциональной добавки в конгломератном материале – бетоне, существенно выше, чем в цементном камне. Очевидно, что рост прочности бетона обеспечивается как за счет собственно роста прочности цементного камня, так и за счет существенного роста сил сцепления в зоне его контакта с заполнителем. Этот вывод подтверждается как установленным ее ростом, так и (как это будет показано далее) ростом воздухо-, водонепроницаемости бетона с полифункциональной добавкой, т.е. ростом его плотности и непроницаемости.

Одной из задач настоящих исследований является *снижение энергетических затрат* в технологии производства бетонных и железобетонных изделий при использовании разрабатываемой полифункциональной добавки. В таблице 4 приведены экс-

периментальные данные по оценке изменений в кинетике твердения и уровню прочности бетона с ускоряюще-уплотняющим компонентом (0,5 % СН + 0,25 % СА) полифункциональной добавки и с полифункциональной добавкой, образцы которого твердели по режиму: 2 ч – предварительная выдержка, 2 ч подъем температуры до 40...45 °С (до температуры бетона в образцах ~ 30...35°С), 12 ч – выдержка в тепловом устройстве, распалубка образцов и первые испытания на сжатие. Далее образцы бетона до испытаний хранили в камере нормально-влажностного твердения. Данный режим имитировал производственные условия твердения бетонных и железобетонных изделий по энергосберегающей технологии [6].

Таблица 4. – Прочность на сжатие образцов тяжелого бетона без добавок, содержащего ускоряюще-уплотняющий компонент (0,5 % СН + 0,25 % СА) и полифункциональную добавку: 0,5 % Ст + 0,5 % СН + 0,25 % СА + 1,0 % УДМК, при различном содержании цемента (подвижность смеси ОК ~ 5...6 см) с начальным разогревом до 30...35 °С

№ состава бетона	Расход цемента, кг на 1 м <sup>3</sup>	(В/Ц) <sub>бетона</sub>	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте					Класс бетона
			16 ч****		24 ч	3 сутки	28 суток	
			МПа	% от f <sub>см.28</sub>				
1	250*	0,61	16,0	55,6	16,8	22,3	28,8	С 18/22,5
2	350*	0,47	25,1	60,2	26,3	32,5	41,7	С 25/30
3	450*	0,43	30,5	62,5	32,3	39,8	48,8	С 30/37
4	250**	0,58	23,3	72,1	24,3	25,2	32,3	С 20/25
5	350**	0,45	33,9	74,0	35,7	38,0	45,8	С 28/35
6	450**	0,41	40,4	77,0	42,5	44,6	52,5	С 32/40
7	250***	0,42	40,3	71,2	41,9	47,1	56,6	С 32/40
8	350***	0,31	54,2	76,9	55,9	58,5	70,5	С 45/55
9	450***	0,28	63,1	81,1	65,0	69,1	77,8	С 50/60
10 (Ж2)	350***	0,26	67,1	90,9	69,5	72,0	73,8	С 45/55

\* бетон из смесей равной подвижности без добавок;  
 \*\* бетон с добавкой 0,5 % СН + 0,25 % СА;  
 \*\*\* бетон с полифункциональной добавкой;  
 \*\*\*\* испытания «горячих» образцов (t ~ 30...35°С) сразу после распалубки;

Анализ соотношения прочности бетона сразу после «прогрева» (в 16 ч) к прочности в проектном возрасте (28 сут.; после «дозревания» бетона в нормально-влажностных условиях) показывает, что ее уровень составляет ~ 70...80 % от «проектной» для образцов с обоими видами добавки; без добавок прочность после «прогрева» ниже и составляет ~ 55...62 % от 28 суточной. При этом большие значения относительной прочности бетона из пластичных смесей соответствуют составам № 8 и № 9 с большими содержанием цемента и наличием полифункциональной добавки.

Кроме означенного, использование полифункциональной добавки создает условия для экономии цемента, что позволяет снижать до 10...15 % расход цемента по критерию обеспечения требуемой прочности бетона.

Рост плотности бетона сопровождается снижением объема капиллярной открытой пористости, что отражается в снижении водопоглощения «рядового» бетона на ~ (25...30) % и росте других качественных характеристик бетона (таблица 5).

Таблица 5. – Результаты оценки эксплуатационных свойств бетона

Характеристика состава бетона (класс по прочности на сжатие)	Водопоглощение по массе, %	Водонепроницаемость (по воздухопроницаемости)		Морозостойкость		Защитная способность ( $i$ , мкА/см <sup>2</sup> при E=300мВ)
		$a_i$ , см <sup>3</sup> /с	Марка, W	Количество циклов в 5 % растворе NaCl (1-ый метод)	Марка, F*	
1. Бетон без добавок (С 25/30)	4,8	0,150	4	8 (300)	300	4,4
2. Бетон с полифункциональной добавкой (С 45/55 при исходном С 25/30)	3,5	0,095	8	15 (500)	500	3,0

\* марка по морозостойкости приведена для бетона общестроительного назначения

За счет роста непроницаемости бетона, оцениваемой водонепроницаемостью и определенной по «прососу» воздуха, рост составил от марки W4 до марки W8, т.е. практически в 2 раза. В этой связи для «рядового» по прочности бетона обеспечивается рост морозостойкости до марки F500, что для бетона общестроительного назначения предполагает возможность его использования для всех видов гражданского, жилищного и промышленного строительства.

Возросшая защитная способность бетона с добавкой по отношению к стальной арматуре ( $i \sim 3,0$  мкА/см<sup>2</sup> при E = 300 мВ) гарантированно обеспечивает возможность его использования в преднапряженных конструкциях при внешней агрессии эксплуатационной среды, т.к. по СТБ 1168-99 плотность тока в этом случае не должна превышать величину в 5,0 мкА/см<sup>2</sup>.

**Заключение.** Разработаны составы и экспериментальное обоснование получения новой полифункциональной добавки в бетон, обеспечивающей повышение темпа роста и уровня его прочности в проектном возрасте до 40...60 % при одновременном существенном снижении энергетических затрат на ускорение процесса его твердения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуриненко, Н.С. Основы эффективности ультрадисперсного микрокремнезема в цементном бетоне / Н.С. Гуриненко, Э.И. Батяновский // Проблемы современного строительства: сб. науч.-техн. ст. (материалы научно-технич. конференции), Минск, 30 мая 2018 г. / Белор. нац. технич. ун-т ; редкол.: В. Ф. Зверев [и др.].– Минск, 2018. – Ч. 2. – С. 256-264.
2. Гуриненко, Н.С. Об эффективности применения в цементном камне и бетоне полифункциональной добавки с ультрадисперсным микрокремнеземом / Н.С. Гуриненко, Э. И. Батяновский // Перспективные направления инновационного развития строительства

- и подготовки инженерных кадров : сб. науч. ст. XXI Междунар. научно-методич. семинара, Брест, 25–26 октября 2018 г. : в 2 ч. / Брестс. гос. технич. ун-т ; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест, 2018. – Ч. 2. – С. 14-22.
3. Биби́к, М.С. Оценка кинетики твердения цементного камня с использованием термодатчиков системы «Термохрон» / М.С. Биби́к, В.В. Бабицкий // *Строительная наука и техника*. – 2010. – № 4. – С. 23–26.
  4. Тейлор, Х. Химия цемента. Пер. с англ. / Х. Тейлор. – М: Мир, 1996. – 500 с.
  5. Чистяков, В.В. Интенсификация твердения бетона / В.В. Чистяков, Ю.М. Дорошенко, И.Г. Гранковский; под ред. А.А. Пащенко. – Киев: Будівельник, 1988. – 118 с.
  6. Батяновский, Э.И. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона / Э.И. Батяновский, Е.А. Иванова, Р.Ф. Осос // *Строительная наука и техника*. – 2006. – № 3. – С. 7–17.

УДК 666.972; 693.54

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА ЗА СЧЕТ ИСКУССТВЕННО СОЗДАВАЕМОЙ ПОРИСТОСТИ

*А.М. Корсун, Э.И. Батяновский*

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: niil-bism@mail.ru

*В статье рассматривается влияние знакопеременных температур на физико-механические свойства бетона, приготовленного с использованием разных химических добавок для повышения морозостойкости. Представлены результаты лабораторных исследований по повышению морозостойкости цементного бетона, показывающие возможность обеспечения высокой морозостойкости без применения воздухововлекающих добавок за счет увеличения плотности и непроницаемости структуры. Экспериментально показано, что введение воздухововлекающих добавок эффективно с позиции обеспечения морозостойкости бетона относительно низких классов. Морозостойкость бетона большей непроницаемости и прочности целесообразно повышать наращивая эти показатели, в частности, за счет максимального снижения начального водосодержания и качественного уплотнения.*

**Ключевые слова:** бетон, добавка, морозостойкость, пористость, плотность, непроницаемость, прочность.

## CONSTRUCTION OF CEMENT CONCRETE IN CONNECTION WITH ARTIFICIAL CREATION BY POROSITY

*A. Korsun, E. Batyanovskiy*

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: niil-bism@mail.ru

*The article discusses the effect of alternating temperatures on the physicomaterial properties of concrete, infused using various chemical additives to increase frost resistance. The results of laboratory studies on increasing the frost resistance of cement concrete are presented, showing the possibility of ensuring high frost resistance without the use of air-entraining additives by increasing the density and impermeability of the structure. It has been experimentally shown that the introduction of air-entraining additives is effective from the standpoint of ensuring frost resistance of concrete with relatively low classes. It is advisable to increase the frost resistance of concrete of greater impermeability and strength by increasing these indicators, in particular, due to the maximum reduction in the initial water content and high-quality compaction.*

**Keywords:** concrete, additive, frost resistance, porosity, density, impermeability, strength.

**Введение.** В развитии теории морозостойкости бетона представлено множество гипотез о причинах и механизме его постепенного разрушения при периодическом замерзании - оттаивании в водонасыщенном состоянии [1].

Первым и наиболее простым объяснением разрушения бетона в этих условиях явилось давление воды, замерзающей в его порах. Роль расширения воды при замерзании учитывается и в современных гипотезах, однако только это физическое явление не может полностью объяснить процесс разрушения бетона.

Следует отметить, что авторы разнообразных гипотез, объясняющих нарушения структуры и ухудшение физико-технических свойств бетона под воздействием циклического замораживания-оттаивания, зачастую отстаивали собственную точку зрения на «механизм» деструкции бетона, основываясь на общих проявлениях этого отрицательного воздействия. По существу их совокупность и есть механизм, приводящий к накоплению и последующему проявлению нарушений структуры бетона, потере его качества под воздействием мороза. То есть, эти факторы присущи морозному воздействию на бетон и являются объективными причинами его разрушения.

Так, обобщение разнообразных гипотез [1-10], включая основы теории миграции влаги в пористых телах [11, 12], позволяет констатировать, что механизм постепенного разрушения структуры бетона, подвергаемого попеременному замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии, представляет собой комплексное сочетание деструктивных факторов, включая: давление льда при кристаллизации свободной воды; гидродинамические воздействия при ее перемещении (миграции) под влиянием градиента тепла и влагосодержания (термовлагопроводности); гидростатическое давление заземленной в тупиковых порах и дефектах структуры жидкости; напряжения, возникающие от разницы температурных деформаций составляющих бетона и цементного камня (т.е. на макро- и микроуровне, в зонах контакта как цементного камня с заполнителями, так и между кристаллогидратными новообразованиями в цементном камне); усталостные (постепенно увеличивающиеся) дефекты структуры от многократно повторяющихся знакопеременных деформаций; понижение со временем концентрации растворенных в «поровой» жидкости продуктов гидролиза цемента [13], как за счет образования нерастворимых в воде кристаллогидратов (отражение продолжающейся реакции цемента с водой), так и из-за «подсоса» жидкости развивающимися дефектами структуры в период оттаивания образцов, что увеличивает содержание свободной воды в объеме бетона, и др.

С целью повышения морозостойкости на основании гипотезы Т. Пауэрса «об интервале пор» [14,15] в бетоне создают искусственную замкнутую пористость (добавками СНВ, СДО, кремнийорганических жидкостей и современных «поризаторов», которые фактически получают на основе этих веществ).

В настоящее время обеспечение морозостойкости связано с применением структурообразующих (воздухововлекающих и газообразующих) добавок, действие которых основано на создании в структуре бетона системы мелких условно-замкнутых пор. Много внимания уделяется дозировкам, способам перемешивания и проч. Многочисленные данные позволяют однозначно сказать, что 1% вовлеченного воздуха приводит к снижению

прочности бетона на растяжение при изгибе на  $\sim 3\pm 1\%$ , а на сжатие – на  $\sim 6\pm 1\%$ , или 18% и 36% при 6% поризующего его структуру воздуха.

Действительно, такие добавки за счет эффекта замкнутой (компрессионной) пористости, эффекта пересекания (уменьшения длины) капилляров, а соответственно – уменьшения капиллярного подсоса и способности бетона сорбировать жидкость, а также за счет гидрофобизации стенок пор и капилляров в бетоне веществом этих добавок способны на 2-3 марки повысить морозостойкость бетона с относительно высокой степенью пористости, особенно низких классов по прочности. Однако «механизм» морозной деструкции бетона гораздо более сложен.

В случае использования хлористых солей-антиобледенителей или испытательных солевых растворов действие означенных факторов на бетон дополняется следующим [16-19]. Во-первых, расклинивающим (в литературе часто называемым «кристаллизационным») давлением накопившейся соли, образовавшейся после пересыщения ее раствора в малых по объемам дефектах структуры цементного камня, в зоне контакта составляющих бетона и микротрещинах зерен заполнителя. При этом механизм образования и увеличения дефектов структуры может проявиться как за счет роста кристаллов соли, так и за счет «обжатия» их, например, прослойкой (оболочкой) цементного камня при отрицательных деформациях в период охлаждения бетона и возникающих при этом растягивающих усилий в цементном камне, вызывающих появление в нем трещин. Во-вторых, усилением процесса миграции воды и ростом влагоемкости бетона, в объеме пор которого накапливается соль. Соответственно возрастает, в сравнении с водой, эффект расклинивающего действия в устье трещин (дефектов) тонких пленок жидкостирасствора. В-третьих, возникает напряженное состояние на уровне микроструктуры цементного камня из-за локальных микроэффектов градиента температур (эндокринный эффект), сопровождающих процесс «очагового» растворения – кристаллизации соли.

Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации воздействие солей-антиобледенителей не прекращается и при положительной температуре окружающей среды. Попеременное увлажнение-высушивание, изменение температуры (даже в пределах суток) вызывают соответствующие деформации бетона, побуждают проявление процессов растворения – кристаллизации попавшей в его поры соли, а также эндокринного эффекта, то есть, сопровождается постоянным деструктивным воздействием на бетон. Оно дополняется тем, что бетон разнообразных дорожных покрытий подвергается интенсивному механическому воздействию: истирающим, сжимающим, изгибающим, ударным нагрузкам различной интенсивности и значений, которые многократно повторяются во времени, приводят к ускоренной морозной деструкции бетона. Успешно сопротивляться такому комплексному химико-физическому воздействию способен только бетон высокой плотности, непроницаемости и прочности. В этой связи, на наш взгляд, наиболее продуктивным способом повышения морозостойкости является не изменение структуры пористости (что обеспечивают воздухововлекающие добавки), а уплотнение цементного камня (раствора, бетона) и заполнение их пор прочными продуктами гидратации цемента. Этого можно добиться используя высокоэффективные современные пластификаторы или такой, содержащий аморфный  $\text{SiO}_2$ , материал как микрокремнезем.



**Результаты экспериментальной оценки морозостойкости бетона.** С целью оценки влияния на морозостойкость бетона наиболее распространенных на рынке Республики Беларусь «поризующих» добавок на начальном этапе исследований (замораживание ( $t = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и оттаивание в 5% растворе NaCl) выявили влияние ряда из них на свойства бетона, связанные с показателем его морозостойкости (таблица 1). Эти эксперименты выполнены на образцах мелкозернистого (цементно – песчаного) бетона постоянного номинального состава (цемента – 500 кг, песок (мытый,  $M_k \sim 2,6$ ) – 1600 кг, воды – 160...170 кг; при одинаковой жесткости бетонной смеси  $\sim 20...25$  с) на материалах, соответствующих требованиям действующей нормативно – технической документации. Химические добавки вводили с водой затворения в дозировке, рекомендуемой их производителями (таблица 1).

Таблица 1. – Характеристики бетона с добавками

Добавка		Относительные величины характеристик бетона		
Вид	дозировка, % от МЦ	прочность на сжатие, %, МПа	водопоглощение по массе, %	морозостойкость, %, после 28 циклов
Без добавок	-	100(52)	100(4,4)	100
Plastolith-A	0,025	85	95	100
Вибропор Ж35	0,075	79	93	95
Софлексил60-80	0,1	72	84	91
Стахемент-F	0,5	114	95	110*
СНВ	0,005	77	85	95
ЩСПК	0,3	85	89	95

\* Эксперимент прекращен, но образцы – без признаков разрушения структуры

Результаты эксперимента, выполненного при соблюдении правила «прочих равных условий», свидетельствуют, что ряд добавок (Софлексил 60-80; ЩСПК и СНВ), обеспечив снижение начального водопоглощения, но одновременно и прочности, в итоге не повысили, а снизили показатель морозостойкости. Причина в росте пористости бетона, что в итоге отразилось в росте водопоглощения после 3-5 циклов замораживания-оттаивания, а также в снижении прочности бетона при их введении в состав, т.е. в снижении способности бетона сопротивляться механическим (деформационным) и иным (см. введение) разрушающим факторам.

Необходимо отметить, что, несмотря на начальное снижение водопоглощения бетона за счет введения в состав этих добавок, вещество которых способствует, с одной стороны, вовлечению воздуха (в виде замкнутых сфер, рассекающих (кроме прочего) каналы капиллярной пористости, снижающих величину капиллярного подсоса бетона и его водопоглощения), а с другой – проявляют эффект гидрофобизации стенок капилляров (и др. дефектов структуры цементного камня и бетона в целом), их эффективность проявляется только на начальном этапе испытаний на морозостойкость и, соответственно, на начальном этапе эксплуатации изделий (конструкций).

После 5-6 циклов замораживания (при  $t \geq (-50...-55)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и оттаивания (что соответствует  $\geq 75$  циклов базовых испытаний бетонов дорожных покрытий) действие гидрофобизации фактически прекращается и в бетоне начинает «работать» весь физический

(фактический) объем его пористости, включая и искусственно созданную пористость за счет воздухововлечения добавок.

В результате через  $n$ -ное количество испытательных (или эксплуатационных, естественных) циклов начинает возрастать водопоглощение бетона, т.е. увеличивается объем проникающей в его поры воды со всеми вытекающими деструктивными последствиями: возрастающим давлением при замерзании воды, ростом знакопеременных деформаций, накоплением усталостных явлений, нарастающим солевым воздействием и т.д. Бетон ускоренно разрушается, т.к. при введении указанных добавок его прочность существенно снижается (на 15...30 %, таблица 1), а значит, снижается и способность к сопротивлению физико-механическим деструктивным явлениям.

Очевидно, что безусловная эффективность воздухововлекающих, гидрофобизирующих добавок в тяжелых бетонах низких классов (прочностью менее 40...50 МПа, т.е. со структурой с достаточно высокой открытой пористостью, характеризующейся водопоглощением бетона без добавок 4,0 % и более по массе) не подтверждается в бетонах более плотных и прочных. В последнем случае целесообразно использовать добавки (например, качественные пластификаторы) с целью повышения плотности (непроницаемости) и прочности бетона, что подтверждают экспериментальные данные (таблица 1), относящиеся к введению в бетон (с понижением его водосодержания), например, суперпластификатора «Стахемент-Ф». Способствуя снижению водосодержания бетона при сохранении консистенции смеси, необходимой для качественного уплотнения, эти добавки обеспечивают рост плотности, непроницаемости и прочности бетона, т.е. все необходимые предпосылки для повышения его морозостойкости и долговечности.

Изложенное экспериментально подтверждено применительно к оценке изменений прочности и устойчивости в процессе испытаний на морозостойкость бетона составов, аналогичных примененным при строительстве 2-й кольцевой минской дороги (таблицы 2 и 3). В исследованиях использовали материалы для бетона, аналогичные применявшимся при ее строительстве.

Таблица 2. – Составы бетона со средней плотностью

Состав	Цемент, кг/м <sup>3</sup>	Песок, кг/м <sup>3</sup>	Щебень, кг/м <sup>3</sup>	Вода, кг/м <sup>3</sup>	Пластификатор, кг/м <sup>3</sup>	Микрокремнезем, кг/м <sup>3</sup>	Микропоран, кг/м <sup>3</sup>	Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>
1. Микропоран + Стахемент 2010	430,0	697	1117	162	2,15	0	0,301	2423
2. Реламикс ПК	430,0	697	1117	120	6,45	0	0	2590
3. Стахемент 2000М	430,0	697	1117	130	4,30	0	0	2515
4. Реламикс ПК + 5% МК	408,5	697	1117	120	6,45	21,5	0	2627
5. Реламикс ПК + 10% МК	387,0	697	1117	140	2,15	43,0	0	2644

Особенностью эксперимента было сопоставление примененного при этом состава (№1) бетона (цемента – 430 кг., песка – 697 кг., щебня (фр. 5...20 мм.) – 1117 кг., подвижность смеси марки «П1»), включающего пластификатор и воздухововлекающую добавку (см. таблицу 2) и составов №2 и №3, включающих пластифицирующую добавку без введения воздухововлекающей, при прочих равных условиях: расходу твердофазных материалов и консистенции (подвижности) смеси. Основное отличие было в формирующейся структуре бетона – с созданием дополнительной пористости за счет введения воздухововлекающей добавки и без нее. В составы №4 и №5 с исследовательской целью был снижен на 5% и 10% расход цемента, взамен ввели равное количество микрокремнезема.

Таблица 3. – Результаты испытаний

№ состава	Введенная добавка, % от МЦ*	В/Ц, доли ед.	Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Прочность бетона, МПа после циклов испытаний					
				0	10	20	30	50	60
1	Стахемент 2010 (0,5%) + Микропоран (0,07%)	0,37	2423	47,5	47,8	47,7	31,3	18,9	-
2	РеламиксПК (1,5%)	0,27	2590	80,0	83,0	91,5	72,1	46,5	27,5
3	Стахемент2000М (1%)	0,30	2515	69,0	69,7	69,0	63,5	28,2	15,2
4	РеламиксПК (1,5%) +5%МК	0,29	2627	80,4	78,1	75,7	63,2	30,0	18,2
5	РеламиксПК(1,5%)+10%МК	0,36	2644	88,3	86,4	84,9	67,2	33,9	19,1

\* в процентах от массы цемента при дозировке в виде раствора

Из данных таблицы 3 очевидно существенное снижение прочности бетона (как в начале испытаний, так и после 30 циклов (на  $\geq 34\%$ ) при введении в состав воздухововлекающей добавки в виде микропорана. Кроме этого, водопоглощение (по массе) бетона с микропараном составило примерно 5 %, а для составов без этой добавки до (2...2,5) %. Здесь следует отметить, что снижение после 30 циклов прочности бетона с поризующей добавкой до  $\sim 31$  МПа означает полную потерю эксплуатационной надежности. Уровень прочности бетона остальных составов в 60...70 МПа способен обеспечивать ее длительный период. Этот вывод подтверждает визуальная оценка состояния структуры бетона испытанных образцов. К 30-ти циклам испытаний структура бетона с поризующей добавкой (состав №1) рыхлая, очевидна ее деструкция по всему объему образцов. Нарушения структуры образцов составов №№2-5 имеются только в поверхностных слоях бетона, т.е. деструкция плотного, непроницаемого материала проявляется в частичных нарушениях цементного камня внешнего контура образцов, при сохранении исходной (плотной) структуры в объеме бетона после 30, а для состава №2 после 50-ти циклов испытаний.

Кроме отмеченного, очевиден прирост прочности образцов бетона в процессе испытаний состава с высокоэффективным пластификатором («Реламикс ПК»). Необходимо отметить, что в этом случае начальное водосодержание бетона равнялось:  $(В/Ц)_6 \sim 0,27$ , средняя плотность близка к 2600 кг/м<sup>3</sup> и водопоглощение по массе  $\leq 2\%$ , т.е. высокая непроницаемость бетона. Выявленный эффект роста прочности особо плотного

бетона при циклическом замораживании – оттаивании обоснован в источнике [13] применительно к высокопрочному бетону сухого формования. Эффект роста прочности связан с продолжающейся гидратацией цемента в бетоне особо плотной структуры под влиянием знакопеременного температурного воздействия. В частности, с тем, что при замерзании «поровой» жидкости цементного камня имеющиеся в ней продукты гидратации цемента «отжимаются» из ее объема к реакционным каемкам из новообразований, окружающим остаточные частицы цемента, дополняют их, уменьшая при этом сечения контракционных пор. Многократно (и объемно) повторяясь при циклическом замораживании – оттаивании бетона этот эффект способствует росту его плотности, т.к. реакция образования кристаллогидратов необратима (для этих температурных условий) и при оттаивании (отогреве) цементного камня в бетоне они остаются в структуре его реакционных каемок, постепенно «наращивая» их объем. Следствием этого является рост плотности и прочности бетона. Естественно, этот эффект характерен для плотного и непроницаемого бетона, т.к. одновременно «накладываются» деструктивные явления переменного замораживания – оттаивания, приведенные ранее. Превалирование «конструктивных» или «деструктивных» явлений проявляется в росте или снижении прочности бетона. Сохранение ее уровня как «const» свидетельствует о своеобразном «равенстве» этих факторов, проявляющихся во время испытаний бетона на морозостойкость, что подтверждает анализ данных таблицы 3.

Из результатов исследований (таблицы 2 и 3) следует, что введение в состав бетона добавки – поризатора едва ли не в два раза (с 80...90 МПа до 45...50 МПа) снизило прочность бетона проектного (28 суток) возраста при проведении экспериментов с соблюдением правила равноподвижности бетонной смеси и «прочих равных условий» по режиму твердения бетона.

Также очевидно, что состав бетона с воздухововлекающей добавкой обеспечил расчетный уровень морозостойкости, соответствующий марке «F200» и установленной по действующим для бетона дорожного назначения правилам.

Одновременно экспериментальные данные свидетельствуют о том, что бетон без воздухововлекающей добавки, но с использованием эффективного пластификатора (в частности Реламикс ПК), обеспечившего существенный рост плотности, непроницаемости и прочности, только после 50...55 циклов снизил прочность до уровня 40...45 МПа. Можно ожидать, что в эксплуатационных условиях дорожного полотна материал с таким уровнем прочности обеспечит ему эксплуатационную надежность.

Исходя из полученных результатов, дальнейшим этапом исследований был эксперимент по оценке деформаций бетона образцов в процессе «замораживания – оттаивания» и по накоплению определенного количества циклов. Цель данного эксперимента – определить уровень деформаций «поризованного» воздухововлекающими добавками бетона и бетона без этих добавок, но характеризующегося структурой повышенной плотности ( $W_m \leq 2\%$ ).

Для данного эксперимента были изготовлены серии образцов №1 и №2 (таблица 2) идентичных составов и в толщу образцов были замоноличены тензометрические датчики (рисунок 1) на расстоянии 20 мм. от боковых граней образцов и в центральной части.

Первоначально эксперимент не удался, поскольку стандартные контакты (выводы) датчиков от значительных деформаций выходили из строя. В этой связи тензометрические датчики были модернизированы и усилены их выводы.

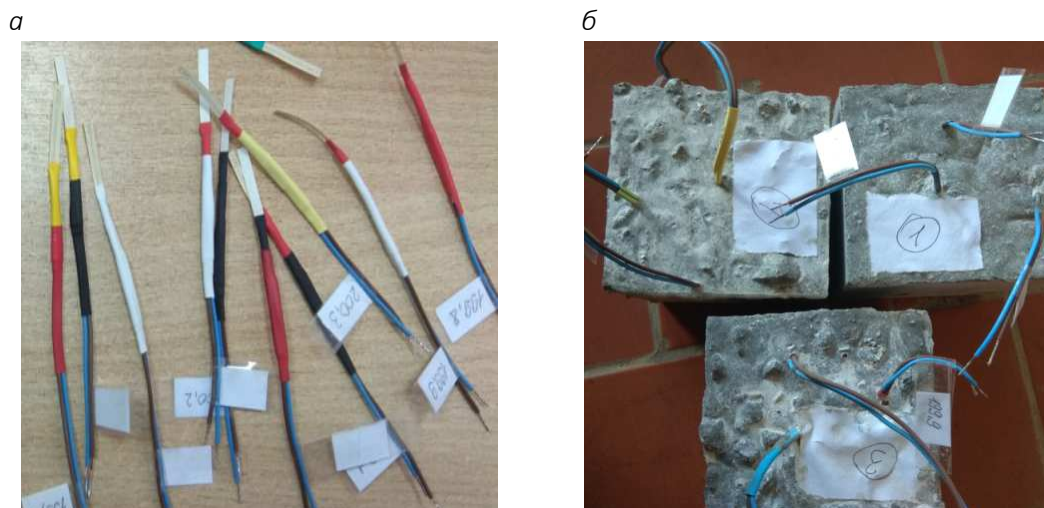


Рисунок 1.– Внешний вид модернизированных датчиков (а) и образцов бетона (б)

Эти испытания находятся в процессе реализации. Первично полученные данные свидетельствуют о разнице в уровне деформаций плотного и поризованного бетона в период как замерзания, так и оттаивания. К данному моменту серии образцов прошли уже 10 циклов замораживания-оттаивания в солевой среде. Отслеживается накопление деформаций в образцах. Информация о результатах эксперимента будет опубликована позднее, т.к. исследования продолжаются.

На данном этапе исследований считаем важным отметить, что оценка морозостойкости цементного бетона по снижению прочности на 5% от исходной для высокопрочного бетона не рациональна. Очевидно, что снижение прочности от 80...90 МПа и более на 5% (т.е. на 4,0...5,0 МПа) при практически полном сохранении структуры и целостности материала, а также прочности на уровне в 75...85 МПа не соотносится с потерей эксплуатационной надежности. Очевидно, что такой бетон будет обеспечивать ее длительный период. В этой связи представляется необходимым в современных условиях критически переоценить требования действующих нормативов об обязательном введении в состав бетона дорожного назначения воздухововлекающих добавок. Естественно, что для этого необходимо провести многоплановые и объемные исследования проблемы повышения морозостойкости бетона с учетом возможностей, которые обеспечивают современные химические и минеральные добавки.

**Заключение.** Введение в состав бетона воздухововлекающих добавок безусловно способно обеспечить его морозостойкость на уровне марки «F200» и даже «F300» при испытаниях в солевой среде.

С целью дальнейшего повышения морозостойкости бетона рационально добиваться одновременного повышения его плотности и непроницаемости наряду с высокой прочностью. Оптимальное сочетание этих факторов способно обеспечить устойчивость

цементного бетона к комплексному воздействию деструктивных эксплуатационных факторов, в том числе с учетом их усиления за счет постоянно действующих механических нагрузок, которые должен выдерживать, например, бетон дорожных покрытий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков, Г.И., Капкин, М.М., Скрамтаев, Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965. –195с.
2. Powers, T.C. Working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete / T.C.Powers // J. Am. Coner. Inst., 1945, № 4. – v. 16.
3. Powers, T.C., Helmuth R.A. Theory of volume changes in hardened portland cement paste during freezing / T.C. Powers, R.A. Helmuth // Proceedings Higway Research Board, 1953: – v. 32.
4. Шестоперов, С.В. Цементный бетон в дорожном строительстве / С.В. Шестоперов – М.: Дориздат, 1950. – 132 с.
5. Стольников, В.В. Исследования по гидротехническому бетону / В.В.Стольников – М.: - Л.: Госэнергоиздат. 1953. – 330 с.
6. Шейкин, А.Е., Добшиц, Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости / А.Е. Шейкин, Л.М. Добшиц – Л.: Стройиздат, 1989, – 128 с.
7. Попов, Н.Д., Невский, В.А. К вопросу об усталости бетона при многократных циклах чередующихся воздействий окружающей среды / Н.Д. Попов, В.А.Невский // Тр. МИСИ им. В.В. Куйбышева. Сб. № 15. – М., 1957.– с. 73-90.
8. Конопленко, А.И. К вопросу теории морозостойкости бетона / А.И. Конопленко // В сб. тр. Ростовского инженерно-строительного института. Вып. XII. – Ростов–на–Дону, 1958.
9. Мощанский, Н.А. Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред / Н.А. Мощанский – М.: Госстандарт, 1962. – 235 с.
10. Collins, A. The destruction of concrete by frost / A. Collins // Institute of Civil Engineers, 1944 nov. – P.5412.
11. Цытович, Н.А., Сумгин, М.И. Основания механики мерзлых грунтов / Н.А. Цытович, М.И. Сумгин – М.: Изд. АН СССР, 1937. – 432 с.
12. Лыков, А.В. Тепло – и массообмен в процессах сушки / А.В. Лыков – М.: - Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 464 с.
13. Батяновский, Э.И. Особо плотный бетон сухого формования / Э.И. Батяновский – М.: НП ООО «Стринко», 2002. – с. 103-108.
14. Powers, T.C. Working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete / T.C.Powers // J. Am. Coner. Inst., 1945, № 4. – v. 16.
15. Powers, T.C., Helmuth R.A. Theory of volume changes in hardened portland cement paste during freezing / T.C. Powers, R.A. Helmuth // Proceedings Higway Research Board, 1953: – v. 32.
16. Ахвердов И.Н., Станишевская, И.В. Влияние вида цемента на стойкость цементного камня при насыщении растворами NaCl и KCl / ДАН БССР. – Минск, 1967. – Т. 11, № 10. – С.893-896
17. Ахвердов, И.Н., Станишевская, И.В. Механизм разрушения пористых материалов при насыщении их солями / ДАН БССР. – Минск, 1967. – Т. 11, № 4. – С. 320-323.
18. Иванов Ф.М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии. – М.: Транспорт, 1968. – 175 с.
19. Путан, А.А., Барташевич, А.А. Оценка кристаллизационных давлений в пористых средах методом фотоупругости // В кн. Методы исследований стойкости строительных материалов и конструкций. – Мн.: Выш. Шк., 1969. – С. 60-69.

20. Москвин, В.М., Иванов, Ф.М. Алексеев, С.Н. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
21. Алексеев, С.Н., Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
22. Иванов, Ф.М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии / Ф.М. Иванов – М.: Транспорт, 1968. – 175 с.
23. Гузеев, Е.А., Савицкий, Н.В. Расчет железобетонных конструкций с учетом кинетики коррозии бетона третьего вида / Е.А. Гузеев, Н.В. Савицкий // Сб. научн. трудов НИИЖБа. под общ. ред. С.Н. Алексеева. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1988. – с. 16-20.
24. Шалимо, М.А. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии / М.А. Шалимо – Мн.: Выш. Шк., 1986 г. – 200 с.
25. Москвин, В.М., Подвальный, А.М. Морозостойкость бетона в напряженном состоянии / В.М. Москвин, А.М. Подвальный // Бетон и железобетон, 1960, № 2. – с. 58-64.
26. Батяновский, Э.И., Бондарович, А.И. Оценка эксплуатационной долговечности тяжелого бетона по критерию «остаточной» морозостойкости / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович // Автомобильные дороги и мосты, 2010, № 2 (6). – с. 49-59.

УДК 666.971.699.82

## НАНОМОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*М.В. Суханевич*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

e-mail: [sukhanevych.mv@knuba.edu.ua](mailto:sukhanevych.mv@knuba.edu.ua)

*Исследуется возможность модификации цементных композиций углеродными наноразмерными частицами (нанотрубками, терморасширенным графитом) с целью регулирования физико-механических и эксплуатационных свойств цементных композиций для получения строительных растворов специального назначения.*

**Ключевые слова:** наночастицы, углеродные нанотрубки, терморасширенный графит, пластификаторы, модификация цемента, доменный гранулированный шлак

## NANOMODIFICATION OF CEMENT COMPOSITES USING INDUSTRIAL WASTE

*M. Sukhanevych*

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

e-mail: [sukhanevych.mv@knuba.edu.ua](mailto:sukhanevych.mv@knuba.edu.ua)

*The possibility of modifying cement compositions with carbon nanosized particles (nanotubes, thermally expanded graphite) in order to regulate the physicomechanical and operational properties of cement compositions to obtain special-purpose mortars is being investigated.*

**Keywords:** nanoparticles, carbon nanotubes, thermally expanded graphite, plasticizers, cement modification, blast furnace granulated slag

Актуальность темы ресурсосбережения и «зеленого строительства» позволила обратить внимание на использование нанотехнологий в производстве строительных материалов, как самой инновационной и перспективной на сегодняшний день [1].

С каждым годом увеличивается количество строительных материалов, которые получены с использованием нанотехнологий, что говорит о их достаточной перспективности, эффективности, возможности влиять на повышение долговечности, прочности строений, улучшении экологических показателей и, безусловно, экономическую выгоду от их использования в строительстве.

В последние годы чрезвычайно возрос интерес к ресурсосберегающим экологически чистым зеленым технологиям. Новый вид экологических технологий для строительства, так называемые «зеленые нанотехнологии» – это способ создания и использования наноматериалов и нанопродукции без нанесения ущерба окружающей среде и здоровью человека [2].

К основным направлениям исследований в области строительных наноматериалов и нанотехнологии [3], можно отнести следующие:

– высокотехнологичные конструкционные материалы (наноструктурная модификация металлов, керамики, стекла, цемента с использованием наночастиц, нанотрубок и нанодобавок);



– научное обоснование и анализ явлений в размерном диапазоне составляющих материала на наноуровне и их проявлений в отношении макросвойств (например, в гидратации, усадке, старении).

Опыт применения наносиликатов показал достижение кардинально новых прочностей и структур цементного камня: прочностью на сжатие около 800 МПа и прочностью на растяжение при изгибе около 100 МПа. Дополнительный потенциал для развития намного более прочных, жестких и долговечных конструкционных материалов предоставляют наночастицы, углеродные нанотрубки и нановолокна, которые сегодня производятся в промышленном масштабе большим количеством компаний [4].

Особую группу составляют высокопрочные, высокоэластичные и ударостойкие покрытия, которые одновременно стойки к химическим воздействиям и защищают конструкции от коррозии [5].

Однако широкое внедрения наночастиц в технологию строительных материалов сдерживает их высокая стоимость и сложность равномерного распределения наночастиц в структуре композита.

В Киевском национальном университете строительства и архитектуры проводятся работы по получению гидроизоляционных покрытий разного механизма действия (поверхностного и проникающего) на основе цементных композитов, модифицированных углеродными нанодобавками [6,7].

С целью снижения стоимости углеродных наноматериалов было предложено использовать для модификации цементных композитов неочищенных углеродных нанотрубок, покрытых слоем аэрогеля кремния (рис.1,а), и терморасширенного графита (см. рис.1,б). Последний представляет собой промежуточный продукт при получении многослойных углеродных нанотрубок (рис.2).

Способ ведения указанных нановеществ в цементную матрицу был предложен исходя из традиционной технологии приготовления строительных растворов. Нановещества вводили в процессе перемешивания в раствор полимерной добавки, пластифицирующего действия. Приготовление комплексной нанодобавки происходило в гидродинамическом агрегате –гомогенизаторе кавитационного принципа действия.

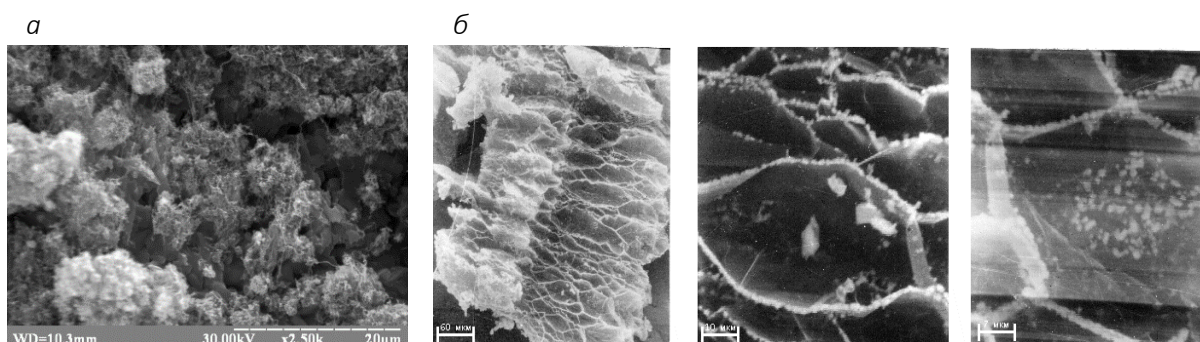


Рисунок 1. – Фотографии углеродных неочищенных нанотрубок (а), терморасширенного графита (б) выполненные электронным микроскопом при увеличении x2500

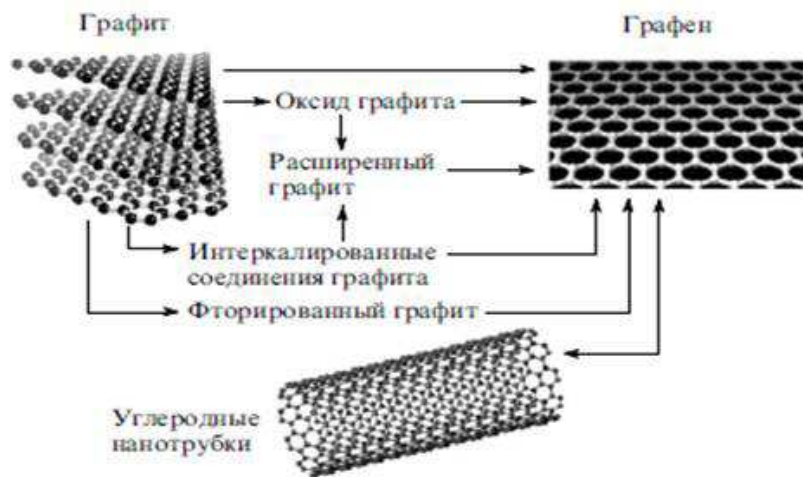


Рисунок 2. – Схема получения углеродных нанотрубок их графита

Были проведены исследования влияния углеродных нанодобавок на механические свойства цементного камня. В исследованиях использовали бездобавочный портландцемент марки М500 и портландцемент с добавкой доменного гранулированного шлака до 30% марки ПЦII АШ-400. Доменный гранулированный шлак представляет собой активную минеральную добавку, присутствие которой создает условия для направленного формирования в составе продуктов гидратации цементного камня низкоосновных гидросиликатов кальция. Последние определяют коррозионную стойкость и долговечность композитов на основе таких цементов.

Кроме того, доменный шлак является отходом металлургической промышленности, эффективная утилизация которого значительно улучшает экологическую обстановку в насыщенных промышленными предприятиями регионах Украины.

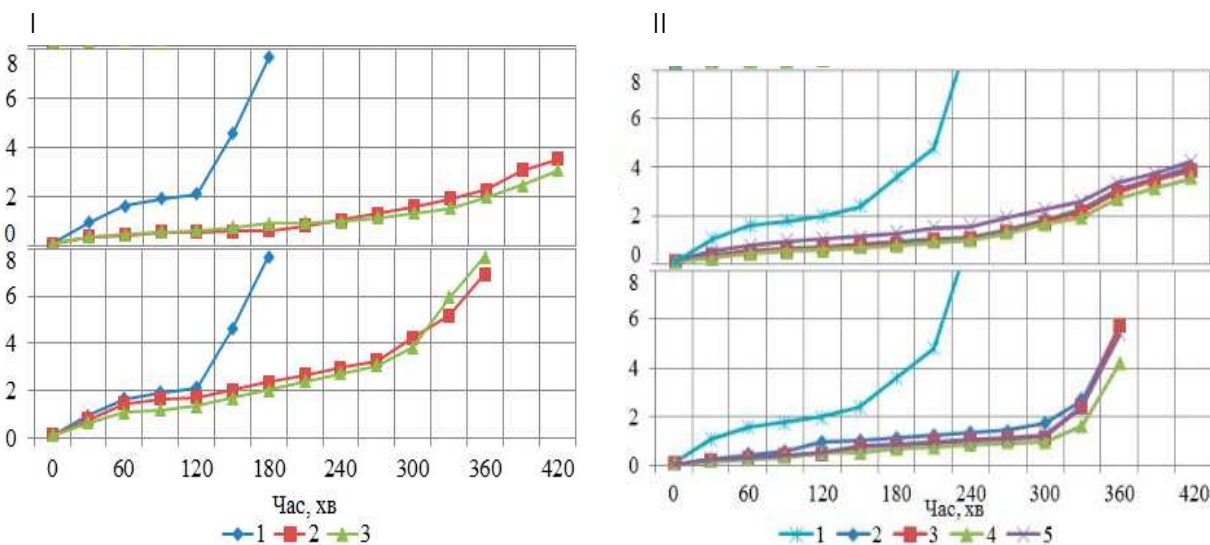
Установлено, что эффективность введения нанодобавок углеродного состава зависит от химической природы дисперсионной среды, в которой они размещены, количества нановещества в составе полимерной среды, а также от типа портландцемента.

С целью оценки влияния нанодобавок на процессы структурообразования была исследована пластическая прочность цементного теста и ее влияние механические свойства искусственного камня (рис.3).

Установлено, что введение углеродных наночастиц в состав дисперсии в количестве 1% от её массы приводит к снижению пластической прочности, и соответственно, к улучшению физико-механических свойств полученного материала (рис.4). Результаты исследований пластической прочности хорошо окрелировали с результатами исследований сроков схватывания.

Исследованиями показано позитивное влияние наномодификации на повышение прочности образцов как в раннем возрасте, так и после твердения длительное время в воздушных и влажных условиях.

Установленные тенденции подтвердились и для образцов на основе цементно-песчаных смесей (рис.4).



цемент без добавки (1); цемент с добавкой пластификатора (2)  
и с добавкой пластификатора и 1% углеродных нанотрубок (I,3) и (II,4);  
дисперсия пластификатора SikaPlast520 (a) и Muraplast FK-98 (б)

Рисунок 3. – Пластическая прочность вяжущих композиций на основе портландцемента ПЦ-500 (I) и шлакосодержащего портландцемента (II)

Так, наилучшие результаты прочностных характеристик получены на образцах на основе шлакосодержащего портландцемента (рис.4). При этом эффективность использования в качестве дисперсионной среды для размещения углеродных нанодобавок повышается для пластификаторов лигносульфонатного (SikaPlast520) и меламинформальдегидного (Muraplast FK-98). Наибольшей прочностью характеризуются образцы с добавкой дисперсии пластификатора на основе SikaPlast520, содержащей 1% нанотрубок: прочность раствора составила 63МПа. Установлено, что прирост прочности составляет 32% в сравнении с прочностью образцов с добавкой только пластификатора.

Поскольку сохранение целостности покрытия во времени очень важно для гидроизоляции, было исследовано его трещиностойкость. Полученные результаты показали, что независимо от типа пластификатора, наличие углеродных нанодобавок повышает этот показатель и трещины появляются на 2,5 часа позже, чем у образцов без нановещества.

С целью установления влияния наночастиц на фазовый состав продуктов гидратации были исследованы образцы шлакосодержащего цементного камня, модифицированного 1%. дисперсии нанотрубок в пластификаторе с использованием дифференциально-термического и рентгенофазового анализа. Установлено, что присутствие последних почти не влияет на фазовый состав новообразований, но они могут изменять их морфологию. Были исследованы образцы с использованием растрового микроскопа и установлено, что присутствие нановеществ способствует синтезу пластинчатых гидросиликатов кальция кроме игольчатых, которые послойно нарастают друг на друга, и образуют плотную структуру, что в последствии приводит к повышению водонепроницаемости композита.

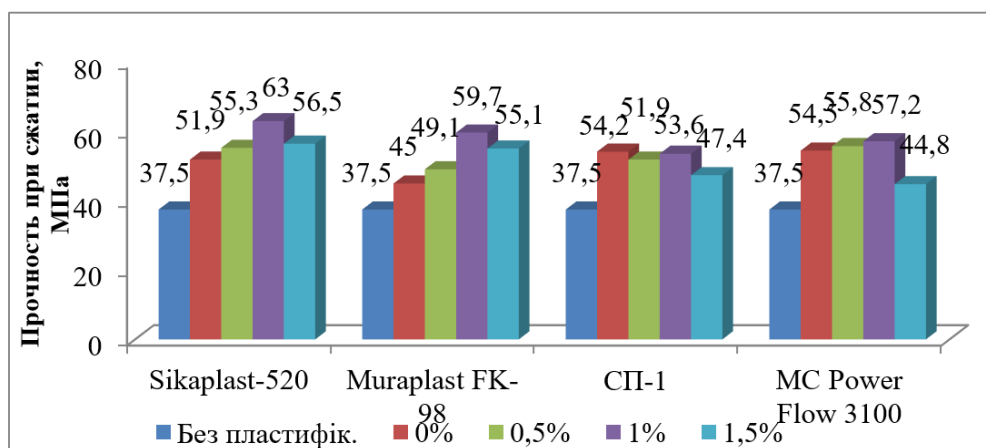


Рисунок 4. – Изменение прочности образцов на основе цементно-песчаного раствора в зависимости от состава наномодифицирующей добавки

Исследование водонепроницаемости бетонов с нанесенными на них гидроизоляционными покрытиями на основе наномодифицированных цементных композиций подтвердило их повышенную стойкость к проникновению воды (на 22%).

Таким образом, проведенными исследованиями показано эффективность использования углеродных нановеществ для модифицирования цементного камня с целью повышения его механических и эксплуатационных свойств и возможность создания на его основе материалов специального назначения, в том числе гидроизоляционных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bartos, P. J. M. Nanotechnology in construction / P.J.M. Bartos, J.J. Hughes, P. Trtik// RSC publications, 2004. - P. 150–157.
2. Middendorf, B. Nanoscience and nanotechnology in cement materials / B. Middendorf, N. B. Singh//Cement International. – 2008. – № 1 – P. 56–54.
3. Koward, T. Influence of surface modified carbon nanotubes on ultra high performance concrete. Proc. Int. Symp. Ultra High Performance Concrete// Kassel, 2004.- P. 195 – 202.
4. Пономарев, А. Н. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и анизотропных добавок / А. Н. Пономарев// Индустрия. – 2005. – № 2. – С. 7–8.
5. Юдович, М. Е. Наномодификация пластификаторов. Регулирование их свойств и прочностных характеристик литых бетонов /М. Е. Юдович, А.Н.Пономарев.// Стройпрофиль. – 2007. – № 6. – С. 49–51.
6. Пушкарева, Е.К. Технологические аспекты введения углеродных нанотрубок при модифицировании портландцементных композиций /Пушкарева Е.К., Суханевич М.В., Марцих А.С.//Сб. Док. II-научно-практического семинара «Производство энерго- и ресурсосберегающих строительных материалов и изделий»// Ташкент, 2013.-т.1.-С.102-108.
7. Pushkarova, K. Using of untreated carbon nanotubes in cement compositions/ Pushkarova K., Sukhanevych M., Martsich A.// Material Science Forum.- Trans Tech Publication, Switzerland, 2016. - Vol. 865.- pp.6-11.

УДК 691

## ЭКОМОДИФИКАТОРЫ РЖАВЧИНЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, БЕЗОПАСНЫЕ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**В.И. Савенко<sup>1</sup>, А.Д. Журавский<sup>2</sup>, А.В. Полосенко<sup>3</sup>, Л.Н. Высоцкая<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

<sup>4</sup>ЧП «Руслан и Людмила», Киев, Украина

e-mail: savenkoknuba@mail.com<sup>1</sup>, azhur@ua.fm<sup>2</sup>, butass\_building@i.ua<sup>3</sup>,  
contrrust@gmail.com<sup>4</sup>

*Коррозия приводит к ежегодным миллиардным убыткам заключающихся в выводе из строя изделий и машин из металла, а также в издержках по защите и восстановлению металлических изделий. Экологически чистое вещество растительного происхождения запатентовано и испытано под названием «КОНТРАСТ» является эффективным средством блокировки источников (ржавления) коррозии и подготовки поверхностей к защитным покрытиям. Обработка поверхности металлов преобразователем CONTRRUST имеет преимущества как перед химическими веществами, которые сейчас широко применяются в производстве и при защите металлов от коррозии в процессе эксплуатации, так экологически безопасна для людей и окружающей среды, Кроме того сырьем для изготовления является безвредны отходы древесины.*

**Ключевые слова:** Контраст, коррозия, ржавчина, покрытия, экология.

## ECOMODIFIATORS OF RUST VEGETABLE BASIS SAFE FOR HUMAN AND ENVIRONMENT

**V. Savenko<sup>1</sup>, A. Zhuravsky<sup>2</sup>, A. Polosenko<sup>3</sup>, L. Vysotskaya<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Kiev National University of Construction and Architecture, Ukraine

<sup>4</sup>PE Ruslan and Lyudmila, Kiev, Ukraine

e-mail: savenkoknuba@mail.com<sup>1</sup>, azhur@ua.fm<sup>2</sup>, butass\_building@i.ua<sup>3</sup>,  
contrrust@gmail.com<sup>4</sup>

*Corrosion results in billions in annual losses of metal products and machinery, as well as the cost of protecting and restoring metal products. An environmentally friendly substance of vegetable origin patented and tested under the name "CONTRAST" is an effective means of blocking the sources (rust) of corrosion and the preparation of surfaces for protective coatings. CONTRRUST converter metal surface treatment has advantages over chemicals that are now widely used in manufacturing and in the protection of metals against corrosion during operation, so is environmentally friendly for humans and the environment.*

**Keywords:** Contrast, corrosion, rust, protective coatings, ecology.

**Постановка проблемы.** Огромные затраты на замену или восстановление пораженных коррозией металлических частей, деталей машин и оборудования, конструкций зданий и изделий широкого потребления побуждают человечество к поискам средств

защиты от коррозии. Исследования и опыт многолетней эксплуатации металлических изделий показывают, что важнейшим моментом в защите и предотвращении коррозии является надежная и правильная подготовка поверхностей металлов к окраске. Легче и надежнее предотвратить процесс коррозии, чем остановить и восстановить пораженные детали и изделия.

Известно много исследований процессов коррозии и устройство защитных покрытий. Существует также много веществ для очистки поверхностей, ингибиторов, напыление, примесей и т.п. Экологически безопасных, эффективных средств растительного происхождения не представлено. Есть уже запатентован преобразователь «CONTRRUST» Патент № (11) 61544, автор Высоцкая Л.Н. Но технология его применения и продвижения на рынке еще идет довольно медленно.

Целью работы является изучение видов коррозии и процессов производства работ безопасных для человека и окружающей среды, для нахождения надежных реагентов погашения микроисточников коррозии и создания надежной пленки (защитного слоя) на поверхности металла до окраски, после которой невозможно начало коррозии под защитным слоем. Популяризация эффективных эко материалов и технологий.

**Основная часть.** Создание экологически безопасных материалов и технологий с использованием природного растительного происхождения органического сырья – новое направление в вопросе борьбы с коррозией черных металлов [1, 12]. С целью блокирования микроскопических возможных центров коррозии повышение преобразующей способности покрывающей вещества и уничтожение источников коррозии в теле металла и в микропорах был создан и запатентован жидкий водный композиционный материал – преобразователь ржавчины «Контрраст», универсальное антикоррозионное средство на основе специальных дубильных веществ и пищевых высокомолекулярных кислот плотностью  $> 1,4 \text{ г / см}^3$  с температурой кипения  $> 210 \text{ }^\circ\text{C}$  и растворимостью в органических веществах: этиловом спирте и аналогичных растворителях. Высокая проницаемость материала позволяет преобразовывать ржавчину толщиной 100...300 мкм в защитную антикоррозионную полимерную пленку, которая надежно блокирует остаточную ржавчину в микротрещинах и порах, прекращает процесс коррозии и разрушения металла [2, 3].

Единственным производителем консерванта-модификатора-грунта- преобразователя ржавчины «КОНТРРАСТ» является Компания «Руслан и Людмила» в соответствии с условиями ДСТУ 4372-2005 (разработчиком которого является ООО «Руслан и Людмила» и ассоциация «Лесные ресурсы») [6, 7, 11].

Преобразователь ржавчины «КОНТРРАСТ» является полноценным материалом, который имеет диффузные свойства и связывает ржавчину на поверхности металла в сложное металлоорганическое соединение, получаемое после реакции оксидов железа с высокомолекулярными кислотами.

Применением преобразователя ржавчины "КОНТРРАСТ" обеспечивается высококачественная подготовка поверхности к завершающим работам (применяется в любое время года для обработки стальных труб, кабельной оплётки, крыш, арматуры в бетоне, узлов сопряжения, сэндвич-панелей, ёмкостей, резервуаров, магистральных

трубопроводов перед установкой усилительных элементов, металлических конструкций в шахтах, на электростанциях, АЭС, в автосервисе, в судоремонте и судостроении (балластные танки, трюмы), метрополитене, на оборудовании пищевой промышленности, которое невозможно защитить от пыли, песка, ржавчины, при производстве особо чистых взрывчатых веществ и медицинских препаратов, на металлоконструкциях, предназначенных для эксплуатации контрольно-измерительных приборов, для выявления очагов коррозии в баллонах высокого давления и конструкциях из специальных изделий, в частности из нержавеющей стали, а также микротрещин и поверхностных раковин, во время изготовления стальных материалов специального назначения, в строительстве, в химической, угольной, нефтегазовой промышленности, на объектах военных предприятий, на металлических конструкциях, где конструктивно используются накладные детали с прерывистыми сварными швами, то есть в местах, где между соединенными деталями образуются микротрещины, в которых скорость коррозии в десятки раз больше, чем на открытой поверхности, при огнезащите несущих металлоконструкций, на газопроводах без остановки (приложение ДБН институт электросварки им. Е.О. Патона), и в других отраслях.

Прежде чем приступить к подготовке поверхности, нужно:

- обследовать объект;
- провести дефектоскопию на предмет толщины поверхности, не разрушенной ржавчиной;
- согласно проектно-сметной документацией и инструкцией производителя, под авторским надзором, нанести преобразователь ржавчины "CONTRRUST".

Преобразователь ржавчины наносят на ржавую поверхность сплошным равномерным слоем, без подтеков любым способом (безвоздушное распыление, шприц и др). Рекомендуется наносить щеткой, при этом втирая преобразователь в поверхность, возможно также нанесение путем распыления, и т. д.

Если толщина ржавчины более 150 мкм и после нанесения первого слоя преобразователя ржавчины пятна ржавчины проявляются, надо на пораженные места нанести преобразователь ржавчины повторно до образования сплошной блестящей мелко или крупнокристаллической антикоррозионной темно-синей плёнки (грунта), которая имеет высокую адгезию с покрытиями, а после реакции на поверхности и в микрощели и высыхания преобразователя (120 мин.) покрыть шпаклевкой, герметиками, и покрасить.

<sup>3</sup>Новые изделия обрабатывают преобразователем ржавчины с целью предупреждения коррозии в порах и на швах металла. Время высыхания преобразователя ржавчины при температуре 20 °С составляет 120 минут. Если он высыхает менее чем за 120 минут, необходимо увлажнять поверхность водой путем напыления или разбрызгивания, чтобы преобразователь прореагировал с ржавчиной. Если высыхание происходит более чем за 120 минут, допускается сушка теплым воздухом (обдувом) или нанесение преобразователя ржавчины на разогретую поверхность.

Нанесение преобразователя ржавчины в теплом виде повышает диффузные свойства (смешивания воды и компонентов, втирание и разделение продуктов коррозии) в 4 раза.

При нанесении преобразователя ржавчины на открытом воздухе необходимо избегать попадания осадков (туман, дождь, снег) на поверхность до полного высыхания преобразователя ржавчины.

На стальные конструкции, которые появляются постоянно под воздействием конденсата, преобразователь ржавчины также наносят способами, описанными выше. Для таких конструкций с целью получения хорошей адгезии рекомендуется в дальнейшем применять покрытия, которые могут наноситься на влажную поверхность, например, глифталевые краски.

Универсальный преобразователь ржавчины относится к композициям, которые наносятся на ржавчину и не смываются. Не требуется утилизация отходов как при его производстве, так и при применении.

Преобразователь ржавчины при его применении образует пленку толщиной 30...50 мкм и имеет такие эксплуатационные свойства:

- он заменяет степень механической очистки корродированной поверхности до состояния 8А 2,5 по стандарту 180 8501-1 и обеспечивает один слой почвы;
- его преобразующая способность при средней толщине ржавчины 300 мкм составляет 100 %;
- он не токсичен и не пожароопасен;
- устойчивость пленки при температуре 20 °С к воздействию воды составляет 72 часа, трансформаторного масла - 96 часов, нефти-сырца - 96 часов;
- проникновение через пленку газов под землей не наблюдается;
- отслаивание пленки под землей под воздействием блуждающих токов до 1,2 вольт и при давлении 200 кгс/см<sup>2</sup> не наблюдается;
- прочность пленки при ударе не менее 4 Дж;
- адгезия пленки к лакокрасочным покрытиям 1...2 балла;
- при pH 0,5...2,2 моль / л образована пленка-грунт не вызывает кислотной коррозии при эксплуатации, так как кислотность нейтрализуется при взаимодействии компонентов с продуктами коррозии.

Эти и другие свойства модификатора ржавчины обеспечивают его техническую и экономическую эффективность.

При необходимости, шпателем наносится двухкомпонентная шпаклевка (состав шпаклевки: полиэфирная смола, цемент, песок, преобразователь ржавчины «КОНТРАСТ» модификация «В») в щели и вмятины в течение 30 минут и остается для затвердевания на 24 часа.

Перспективным для использования в антикоррозионной защите есть модифицированные покрытия холодного нанесения на основе водных битумных эмульсий - битумно-латексные эмульсии. Материалами для модификации битумов и битумных эмульсий, и получения на их основе эмульсий с улучшенными свойствами является латекс с добавлением модификатора ржавчины «КОНТРАСТ» модификация «В», могут использоваться мастика герметизирующие по ГОСТ Б.В.2.7 - 77 - 98, или для защиты арматуры и закладных, и накладных деталей сухих смесей – согласно ДБН 2.6 - 22 2001 "Устройство покрытий с применением одних строительных смесей".



Для проверки влияния уровня и качества подготовки поверхности на защитные свойства покрытий их наносили на металлические пластинки из низкоуглеродистой стали, поверхности которых были подготовлены следующими способами: 1) механическая очистка ( $Ka = 10...12$  мкм); 2) пескоструйная очистка ( $Ka = 50...75$  мкм); 3) дробеструйная очистка ( $Ka = 125$  мкм); 4) подготовка поверхности преобразователем ржавчины «КОНТРРАСТ» модификации А. На рис. 1 приведены внешний вид данных поверхностей.

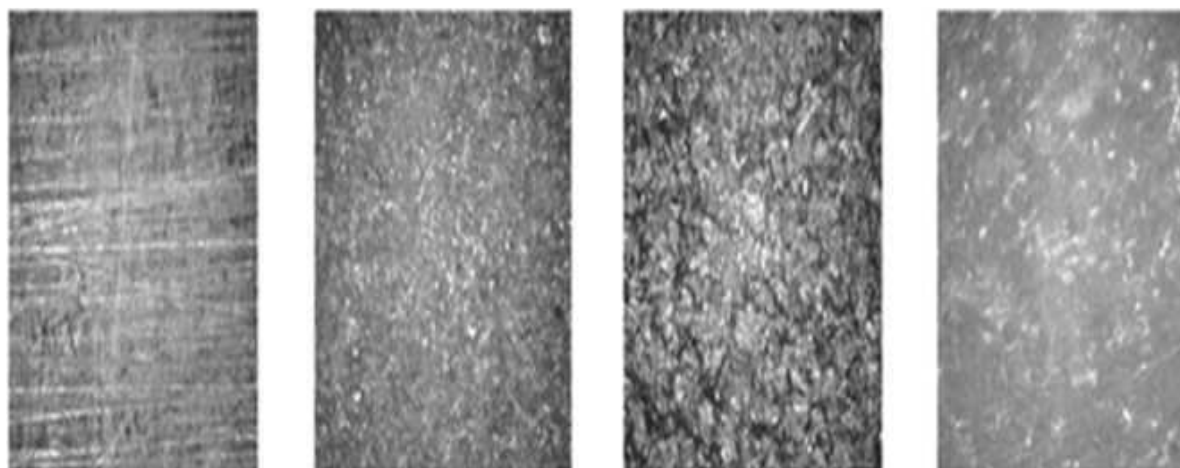


Рисунок 1. – Очистка металла от ржавчины

Проведены экспериментальные исследования сцепления арматуры, которая была покрыта преобразователем ржавчины «КОНТРРАСТ», с бетоном. Исследование не обнаружило негативного воздействия преобразователя ржавчины «КОНТРРАСТ» на сцепление арматуры с бетоном.

Прикладное значение применения преобразователя CONTRRUST рассмотрено в статье «Обеспечение функциональной устойчивости металлических конструкций, изделий и машин с помощью применения экологически чистых средств» (А.И. Бондарь, В.И. Савенко, О.А Машков, Г.Ф. Высоцкая, А.М. Коротеев), монографиях [1, 2, 10, 11]. Коррозия металлических конструкций ежегодно приводит к миллиардам потерь, при этом возрастают затраты на защиту и восстановление металлических изделий. обеспечение функциональной устойчивости металлических конструкций. Продление сроков службы конструкций и металлоизделий можно осуществлять путем защиты от коррозии, правильной подготовки поверхности нанесением слоя высококачественных герметиков, красок или других видов покрытия.

Огромные затраты на замену или восстановление пораженных коррозией металлических частей, деталей машин и оборудования, конструкций зданий и изделий широкого потребления побуждают человечество к поискам средств защиты от коррозии. Исследования и опыт многолетней эксплуатации металлических изделий показывают, что важнейшим моментом в защите и предотвращении коррозии является надежная и правильная подготовка поверхностей металлов к окраске. Легче и надежнее предотвратить процесс коррозии, чем остановить и восстановить пораженные детали. Известно много исследований процессов коррозии и устройство защитных покрытий. Существует

также много веществ для очистки поверхностей, ингибиторов, напыление, примесей и т.п. Экологически безопасных, эффективных средств растительного происхождения не представлено. Есть уже запатентован преобразователь «CONTRRUST» патент № (11) 61544, автор Высоцкая Л. Но технология его применения и продвижения на рынке еще идет довольно медленно.

Изучение видов коррозии и процессов, испытываются при начале и в ходе коронирования металлов, для нахождения надежных реагентов погашения микроисточников коррозии и создания надежной пленки (защитного слоя) на поверхности до окраски, под которой невозможно начало коррозии под защитным слоем является важным этапом в борьбе с коррозией.

В силу объективных и субъективных причин; недобросовестной конкуренции, некомпетентности, коррупции и т.д. на современном этапе развития производства, науки и техники потери от коррозии в промышленно развитых странах достигают 3...5 % национального дохода. В Украине проблемы с коррозией значительно больше вследствие ряда причин. Большинство сооружений, которые все еще находятся в эксплуатации, как раз достигли критического возраста 40...60 лет. Специалисты считают, что объекты с таким сроком службы близкие или находятся в предаварийном состоянии. Особенно это касается металлургических и химических предприятий, нефти и газопроводов, где элементы и конструкции работают в высоко агрессивных средах. Именно по причине коррозии в год теряется 1,5...2% со 100 млн. тонн конструкций. Это приводит к миллиардам долларов убытков, возникновения чрезвычайных ситуаций, экологических катастроф.

Особый ущерб приносит коррозия металлов. Самый распространенный и наиболее знакомый всем нам вид коррозии - ржавления железа. Поэтому арки мостов фермы, балки и другие конструкции и изделия из металла нужно защищать комплексно. Коррозия - это физико-химическое взаимодействие металла со средой, ведущее к разрушению металла. В результате коррозии металлы переходят в устойчивые соединения - оксиды или соли, в виде которых они находятся в природе. Коррозия съедает до 10 % производимого в стране металла. Трудно учесть косвенные потери от простоев и снижения производительности оборудования, подвергшегося коррозии, от нарушения нормального хода технологических процессов, от аварий, обусловленных снижением прочности металлических конструкций.

Известно, что ржавчина - это слой частично гидратированных оксидов железа, образующаяся на поверхности железа и некоторых его сплавов в результате коррозии.

По механизму коррозия бывает разных видов. Химическая, электрохимическая, где процесс электрохимической коррозии можно замедлить не только путем непосредственного торможения анодного процесса, но также воздействуя на скорость катодного. Наиболее распространены два катодных процесса: разряд водородных ионов ( $2e + 2H^+ = H_2$ ) и восстановление растворенного кислорода  $4e + O_2 + 4H^+ = 2H_2O$  или  $4e + O_2 + 2H_2O = 4OH$  часто называют соответственно водородной и кислородной деполяризацией. Газовая, атмосферная коррозия, жидкостная коррозия, подземная коррозия. Характерной особенностью подземной коррозии является разница в скорости

(в десятки тысяч раз) доставки кислорода (основного деполяризатора) к поверхности подземных конструкций в разных почвах.

Современная защита металлов от коррозии базируется на следующих методах:

- повышение химического сопротивления конструкционных материалов,
- изоляция поверхности металла от агрессивной среды,
- снижение агрессивности производственной среды,
- снижение коррозии наложением внешнего тока (электрохимическая защита) [3, 4].

Идеальная защита от коррозии на 80 % обеспечивается правильной подготовкой поверхности и только на 20 % качеством лакокрасочных материалов, используемых и способом их нанесения [11].

Продолжительность и эффективность покрытия по стальным поверхностям зависят в очень большой степени от того, как тщательно подготовлено поверхность для покраски. Подготовка поверхности заключается в предварительной подготовке, имеющей целью устранение окалины, ржавчины и посторонних веществ, если они есть, со стальной поверхности перед нанесением заводской грунтовки или праймера. Вторичная подготовка поверхности направлена на устранение ржавчины или посторонних веществ, если они есть, со стальной поверхности с заводской грунтовкой или праймером к нанесению антикоррозионной красящей системы.

За последние годы этой проблеме не только не уделяется внимание на государственном уровне, но и практически прекратили свое существование отраслевые системы надзора за эксплуатацией зданий и сооружений. В настоящее время, имеет место значительное отставание, как в организационном плане, так и по уровню технологий антикоррозионной защиты: у нас нет сформированного направления и отработанной обязательной системы обследования объектов, правил включения инновационных технологий в проектно-сметную документацию и нормативные документы с целью повышение коррозионной стойкости эксплуатируемых объектов, долгостроев и металлопроката на складах. Жесткие условия, эксплуатации металлоконструкций и повышенные требования их технического состояния определяют необходимость применения надежных, экологически чистых и экономически выгодных средств для антикоррозионной защиты поверхности изделий и снижение скорости коррозии стальных конструкций, эксплуатируемых в атмосферных условиях и технологических средах [1, 11].

Для решения проблем коррозии металлоконструкций, минимизации ущерба окружающей среде, здоровью человека и состояния зданий и сооружений, уменьшению трудозатрат, сроков ремонта и строительства объектов, достижение высокого экономического эффекта изобретен преобразователь ржавчины. Преобразователь состоит из дубильного экстракта, пищевой кислоты и воды, содержащей серебро в составе масс. %: Дубильный экстракт 15,0...45,0, пищевая кислота 3,0...2,0, остальные - вода с содержанием серебра 0,001...0,05 мг / дм<sup>3</sup>. Если толщина ржавчины превышает 300 мкм, лучше, чтобы преобразователь содержал 0,001...0,005 масс. % гептагерманата натрия (Na<sub>6</sub>Ge<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), он способствует лучшему проникновению преобразователя в раковины металла и служит для уничтожения центров коррозии (Украина, Патент №61544, С 09 D 5/08; Азербайджан, Патент №61544, С 09 D 5/08; Азербайджан, Патент №IXTIRA I 2007 0104 автор Высоцкая Л.М). Для антикоррозионной защиты, а также металлоконструкций,

которые постоянно находятся в агрессивных средах в состав преобразователя возможно добавление 10,0...15,0 масс. % Жидкого натриевого стекла ( $\text{Na}_2\text{O} (\text{SiO}_2)_2$ ).

В патенте UA 61544 описан преобразователь ржавчины, содержит минимальное количество компонентов, но имеет способность к нанесению на ржавые поверхности, покрытые конденсатом, имеет высокую преобразующую способность, малое время высыхания, что и обеспечивает прочность полученного покрытия и устойчивость его к воздействию воды, масла и нефти-сырца, бензина и других сред, с которыми контактирует покрытие.

Он имеет следующий состав (масс. %):

дубильный экстракт 15,0...45,0

пищевая кислота 3,0...12,0

вода с содержанием серебра 0,001...0,05 мг /  $\text{дм}^3$  - остальные.

Дополнительно преобразователь ржавчины может содержать 0,001...0,005 масс. % гептагерманата натрия ( $\text{Na}_6\text{Ge}_2\text{O}_7$ ) или 10,0...15,0 масс. % жидкого натриевого стекла.

Описанная композиция наиболее приспособлена для выполнения определенной функции: грунта, модификатора, преобразователя ржавчины.

В процессе внедрения преобразователя ржавчины «CONTRRUST» было проведено усовершенствование с целью достижения еще более высокого экономического эффекта и продвижение на международные рынки, учитывая то, что эффективного аналога нет.

Материал «КОНТРРАСТ» относится к средствам для борьбы с ржавчиной, а точнее, к композициям для борьбы с ржавчиной на основе танина [2, 7].

Танин является естественным дубильным веществом, образующим с оксидами железа не растворимые комплексы. В композициях для борьбы с ржавчиной как танин используют дубильные экстракты древесины (дуб, ива, ель).

В основе новой технологии борьбы с коррозией лежит универсальный преобразователь ржавчины, средство [5, 6, 7], которое:

- имеет повышенные проникающую и преобразующую способность и имеет свойства модификатора;

- обеспечивает образование прочно сцепленной с основанием металлоконструкции пленки, которая имеет эффект ингибитора коррозии, может служить в качестве консерванта и как грунт с повышенной теплостойкостью и термостабильностью, снижает орошения стали, имеет фунгицидные свойства;

- исключает утилизацию отработанных вредных для здоровья и окружающей среды материалов (оксиды железа, оксиды кремния и алюминия, природный газ, углекислый газ), которые используются при очистке ржавой поверхности дорогими способами очистки (абразив-струйный, пламенный и пламенно-абразивной, гидробластинг);

- ценным свойством созданного вещества «КОНТРРАСТ» является также возможность создания композиции для приготовления преобразователя ржавчины, которая была бы удобна при транспортировке, хранении и приготовлении преобразователя ржавчины.

Еще одним важным моментом является разработка способа приготовления преобразователя ржавчины в виде концентрата, и это внедрено на предприятии, ООО «Руслан и Людмила».

В преобразователе ржавчины модификации «А» ГОСТ № 4372: 2005 (приложение № 4), включающий дубильный экстракт, щавелевую кислоту, источник серебра и воду

в качестве источника серебра использовано азотнокислое серебро. Преобразователь дополнительно содержит оксиэтилидендифосфовую кислоту-1 и дубильный экстракт.

Дубильные экстракты - это вещества, которые экстрагируют паром из дубильной древесины и коры дуба, ивы, ели и др. В преобразователе ржавчины связующими и пассивирующими ржавчину есть танины - основной компонент сухой части дубильных экстрактов. По химическому строению танины - это полифенолы, строение которых очень сложное.

С ржавчиной и поверхностью металла танины взаимодействуют своими гидроксидными группами. Химизм реакции, возможно, представить следующим образом:

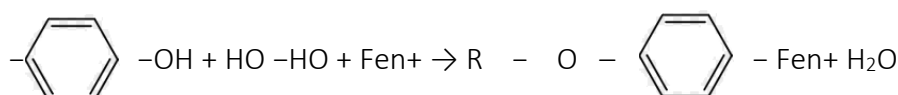


Рисунок 2

где  $\text{Fe}^{n+}$  – ион железа, присутствующий в ржавчине; n может быть равно 2, либо 3.

щавелевая кислота	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$	3,80...7,72
азотнокислое серебро	$\text{AgNO}_3$	0,01...0,10
оксиэтилидендифосфовая кислота-1		0,15...0,67

Оксиэтилидендифосфовая кислота-1 (ОЭДФ), будучи растворенной в воде, имеет поверхностную активность, поэтому способствует быстрому проникновению преобразователя в поры ржавчины, даже самые мелкие. ОЭДФ синергетической усиливает преобразующую способность танинов. На основе металлоконструкции образуется прочно сцепленная с ней тенетная пленка, которая имеет эффект ингибитора коррозии. Пленка снижает усталость стали - опасное явление, которое делает сталь хрупкой и которое происходит под воздействием на сталь органических кислот. Пленка служит как грунт с высокой теплостойкостью и терм стабильностью при последующем нанесении лакокрасочных и изоляционных покрытий [2, 11].

Проникая в поры окалины, ОЭДФ пассивирующая большое количество продуктов коррозии, приводит к отслоению окалины от прокорродованного металла и к возникновению адгезивного контакта между ним и грунтовочным покрытием. Вступая в химическую реакцию с поверхностью металла, образует пленку. Пленка, образовавшаяся имеет эффект ингибитора, не позволяет вступать в реакцию активной поверхности железа с кислородом во влажной среде. Поверхность становится более устойчивой к коррозии.

Наличие в воде азотнокислого серебра в сочетании с ОЭДФ позволяет достигать глубокой диффузии преобразователя в слой ржавчины, способствует образованию прочной пленки с высокой адгезией. Полученное покрытие обладает высокой устойчивостью к воздействию воды, масел, нефти-сырца и газов, образующихся под землей при блуждающих токах.

Благодаря добавлению азотнокислого серебра поверхность металлоконструкции, обработанная преобразователем, и сам преобразователь не претерпит биокоррозии. Особенно эффективно использование азотнокислого серебра при повышенном содержании в контактирующей с металлоконструкцией воде хлорид ионов, активизируют

процессы коррозии. Поэтому, для нейтрализации добавляется азотнокислое серебро, которое взаимодействует в реакции ионов серебра с ионами хлора  $Ag + Cl^- = AgCl \downarrow$  (ионы хлора выпадают в осадок).

Кроме того, азотнокислое серебро не выпадает в осадок при хранении преобразователя ржавчины, имеет место в преобразователе ржавчины по патенту UA 61544, в котором используется коллоидное серебро.

Лимонная кислота усиливает консервирующие свойства преобразователя ржавчины, и он может успешно применяться в качестве консерванта для предотвращения коррозии при хранении металлопроката и металлических элементов, и конструкций.

В композиции для приготовления преобразователя ржавчины, включая дубильный экстракт, щавелевую кислоту и серебро, как источник серебра использовано азотнокислое серебро, и она дополнительно содержит оксиэтилидендифосфоновую кислоту-1 при таком соотношении компонентов, в масс. % (Модификация «Б» (пастообразная смесь) ДСТУ 4372: 2005):

дубильный экстракт	49,00...76,00
щавелевая кислота	23,00...47,00
азотнокислое серебро	0,05...0,60
оксиэтилидендифосфоновая кислота-1	0,95...4,00.

Лучше, чтобы композиция содержала также такие компоненты, масс. %:

триполифосфат натрия	0,40...1,30
гексаметафосфат натрия	0,40...1,30
глиоксаль	3,10...3,45

Композиция может содержать также 0,90...3,50 масс. % Лимонной кислоты.

Композиция может содержать воду в пропорции: на одну массовую часть композиции 0,20...0,50 массовых частей воды.

Согласно изобретению, третья задача решается тем, что описанную выше композицию смешивают с водой в пропорции на одну массовую часть композиции 5...6,25 массовых частей воды. При необходимости 0,10...0,30 % масс. воды заменяют спиртом [11].

#### **Выводы:**

1. Главное преимущество модификатора-преобразователя-консерванта-грунта в том, что он экологически чистый, изготовлен на растительной основе, все компоненты 3 и 4 степени опасности, не горюч, не токсичен, не канцерогенный, может контактировать с питьевой водой, полностью исключает пескоструйную и дробеструйную очистку, закрепляет окалину, заменяет межоперационный и первый слой грунта, растворителем является вода, содержащая серебро, блокирует центры коррозии за счет диффузных свойств, незаменим при борьбе с щелевой коррозией, не нужны смыв, обезжиривание поверхности (обезжириваются только локальные места) или обеспыливание, сокращаются сроки пребывания металлоконструкции в ремонте и трудозатраты, подходит под любые системы покрытий (изоляция, герметизация, в железобетоне, под сэндвич-панели, под системы лакокрасочных покрытий и т.д.), прост в применении (даже в полевых условиях), наносится удобным способом, модификация ржавчины и образования антикоррозийной защитной пленки-грунта происходит за счет органических соединений. Расход «КОНТРАСТ» на 1 м<sup>2</sup> поверхности – 60...100 мл.

2. Преобразователь ржавчины «КОНТРАСТ» позволяет избежать необходимости в захоронении отходов, получаемых в ходе очистки поверхностей ядовитыми ЛКМ, образу-

ет гидроизоляцию при устройстве деформационных швов мостов, эстакад, обеспечивает защиту портовых конструкций и сооружений, береговых оснований и грунтов, подготовке поверхности без применения пескоструя, и использования турбофрез, а также продлевает срок службы объектов, обеспечивает защиту от возгорания, чистоту и экологичность, не оказывая негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду в целом.

3. Многочисленные проверки и испытания предложенного материала и технологии производства работ, проведенные МОЗ Украины, Министерством охраны окружающей среды и ядерной безопасности Украины, НАН Украины, институтом электросварки им. Е.О. Патона, физико-механическим институтом им. Г.В. Карпенко, Минобороны Украины, Минагрополитики Украины и др., подтвердили эффективность предложенного направления борьбы с коррозией и улучшения экологической ситуации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савенко, В.И., Фиалко, Н.М., Доценко, С.И., Высоцкая, Л.Н. и др. Научные методы энергоресурсосбережения и энергоменеджмента, борьбы с коррозией и эффективного управления процессами: монография «Под общей редакцией Фиалко Н.М., Савенко В.И., Высоцкой Л. Н. – Киев: Центр учебной литературы», 2019. – с. ISBN 978-611-01-1264-2
2. Савенко, В.И., Фиалко, Н.М., Плугин, А.А., Высоцкая, Л.Н. и др. Экоэнергоресурсосберегающие технологии борьбы с коррозией теплотерями, управление процессами и энергоменеджмент: монография / Под общей редакцией Фиалко Н.М., Савенко В.И., Плуцина А.А. – Киев: Центр учебной литературы, 2019. – 250 с. ISBN 978-611-01-1602-2
3. Хомченко, Г.П., Цитович, И.Г. Неорганическая химия / Г.П. Хомченко, И.Г. Цитович. – М.: Высшая школа, 1987. – 464 с.
4. Фримантл, М. Химия в действии: В 2-х ч. – ч.1. / М. Фримантл – М.: Мир, 1998. – 528 с.
5. ТУУ 14333-082/001-98 «Перетворювач іржі «КОНТРАСТ» – К., 1998.
6. ДСТУ 4372:2005 «Перетворювач іржі на основні деревинної речовини. Технічні вимоги.» – К., 2005.
7. Патент № (11) 61544 «Перетворювач іржі «КОНТРАСТ».
8. Машков, О.А., Барабаш, О.В., Дурняк, Б.В., Обідін, Д.М. Забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем /Моделювання та інформаційні технології /Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці, вип. 64, Київ, 2012, с. 36-41.
9. Машков, О.А., Аль-Тамими, Р.К.Н., Лами, Д.Д.Х., Косенко, В.Р. Функціональна стійкість складних екологічно-небезпечних динамічних систем / Екологічні науки: науково-практичний журнал / – К.: ДЕА, 2016. – №3-4 2016 (14-15), с. 65-74.
10. Савенко, В.И., Фиалко, Н.М., Доценко, С.И., Высоцкая, Л.Н. и др. Энергоресурсосберегающие экологически чистые технологии отопления помещений и борьбы с коррозией, управление процессами и энергоменеджмент: монография / Под общей редакцией Фиалко Н. М., Савенко В. И., Высоцкая Л. Н. – Киев: Центр учебной литературы, 2019. – 192 с. ISBN 978-611-01-1264-2
11. Савенко, В.И., Плуцин, А.А., Кущенко, І.В., Машков, О.А. Забезпечення корозійної та функціональної стійкості металомістких комплексів і критичної інфраструктури за допомогою інноваційних науково містких екоресурсозберігаючих технологій: монографія / під заг. ред. Плуцина А.А., Савенка В.І., Кущенка І.В., Машкова О.А. – Київ: Центр учбової літератури, 2019. – 306 с. ISBN 978-611-01-1644-2

УДК 691.162

МОНИТОРИНГ УРОВНЕЙ ДИНАМИКИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ  
МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА НА ЕГО ЭТАПАХ ТВЕРДЕНИЯ

*Д.Н. Шабанов, А.Н. Ягубкин, Е.С. Боровкова*

Полоцкий государственный университет, Беларусь

e-mail: d.shabanov@psu.by, a.yagubkin@psu.by, e.borovkova@psu.by

*Приводятся результаты экспериментальных исследований акустической эмиссии (АЭ), возбуждаемых в бетонных смесях на основных этапах структурообразования. Также исследовалась АЭ в образцах из цементного камня различного возраста, т.е. в процессе твердения, в режиме одноосного деформирования. Зарегистрированы сигналы АЭ в образцах, отличающихся между собой как по возрасту, так и по прочности. Определена связь между прочностными и АЭ характеристиками каждого образца, а также взаимосвязь между уровнями структуры бетона и сигналов АЭ в эти периоды.*

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, цементный камень, этапы структурообразования.

MONITORING THE LEVELS OF THE DYNAMICS OF STRUCTURE FORMATION OF A CEMENT STONE  
BY THE ACOUSTIC EMISSION METHOD  
AND FORECASTING OF THE RESOURCE AT ITS CURING STAGES

*D. Shabanov, A. Yagubkin, E. Borovkova*

Polotsk State University, Belarus

e-mail: d.shabanov@psu.by, a.yagubkin@psu.by, e.borovkova@psu.by

*The results of experimental studies of acoustic emission (AE) excited in concrete mix at the main stages of the formation of cement stone are presented. The researchers also did not have different ages, i.e. during hardening, in uniaxial deformation mode. The recorded AE signals in the samples, as well as in strength. The relationship between the strength and signal elements of each sample, as well as the relationship between the structural levels and EE signals during these periods.*

**Keywords:** acoustic emission, cement stone, structural stages.

**Введение.** Современное строительство нельзя представить без бетона. Технология производства бетонов основана на химических и физико-химических процессах, протекающих как в бетонной смеси до момента схватывания, так и при твердении бетонов. Знание этих процессов позволит получать бетоны с заданными прогнозируемыми свойствами. На сегодняшний день существует большое количество способов определения прочности бетона с помощью методов как разрушающего, так и неразрушающего контроля, но все они хорошо изучены для материала со сформировавшейся структурой. Поэтому возникает актуальность в разработке и применение новых методик, которые



позволят исследовать свежий бетон и прогнозировать его ресурс еще на стадии твердения. В этой области исследований хорошо себя зарекомендовал метод акустической эмиссии, который позволяет регистрировать внутреннюю структурную активности бетона в процессе его твердения [1].

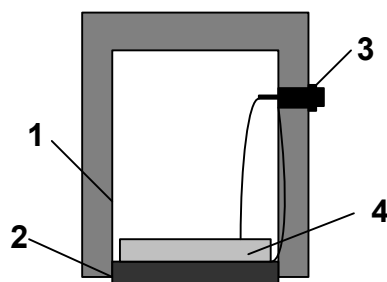
Бетон – искусственный строительный конгломерат представляет собой систему из множества атомов (элементов), развивающегося во времени. Структура бетона чрезвычайно сложна, находится в непрерывном изменении (динамике) с момента приведения компонентов бетона в соприкосновение с водой и до момента потери эксплуатационных свойств структурой бетона. Поскольку свойства бетона, его поведение определяются его структурой, то при каждой обнаруженной в ней перестройки необходимо искать изменение её динамики и, наоборот, за каждым замеченным изменением динамики следует искать преобразование структуры [2].

В строительном материаловедении принято выделять четыре основных периода в процессе структурообразования бетона: растворения (начальный и индукционный периоды), ускоренный (схватывания) и кристаллизации (твердения). Также эти периоды связаны с общей градацией капилляров и структурного каркаса, учитывающего в нем и дефекты. Ведь структура цементного камня представлена твердой фазой и поровым пространством, заполненной жидкостью или газом, причем важнейшие свойства бетона зависят от физических и физико-химических характеристик и каркаса, и порового пространства [3].

**Исследовательская часть.** Нами были исследованы образцы бетонной смеси и цементного камня в возрасте от 10 минут до нескольких часов, 3-ех, 7-ми, 14-ти и 28-ми суток. Определена связь между прочностными и АЭ характеристиками каждого образца, а также взаимосвязь между уровнями структуры бетона и сигналов АЭ в эти периоды. АЭ аппаратура работает только с электрическими сигналами, поэтому для приема и излучения акустических волн в основном используют пьезоэлектрические преобразователи, трансформирующие акустические колебания в колебания электрического напряжения и обратно. Преимущество пьезоэлектрических преобразователей в том, что они обладают высокой чувствительностью к деформациям и акустическим колебаниям. Работа этих преобразователей основана на явлении пьезоэлектрического эффекта. При деформации некоторых диэлектриков происходит несимметричное смещение электрических зарядов и в результате на границах материала возникают некомпенсированные поверхностные заряды. В материале появляется электрическое поле, а на его границах – электрическое напряжение [4].

Процесс производства бетона начинается с получения бетонной смеси, т.е. сложной многокомпонентной системы. Бетонную смесь получают при затворении водой смеси цемента и заполнителей. Данная смесь представляет начальный период структурообразования, что соответствует надмолекулярному уровню (диаметр частиц  $d$  лежит в интервале  $10^{-9} < d \leq 5 \cdot 10^{-9}$  м). В нашей работе исследовались образцы без заполнителей и данный период начинается сразу после смешивания цемента и воды. Между частицами возникают внутренние силы взаимодействия, благодаря чему формируется первичный каркас будущей структуры цементного камня, протекающей в объеме коагуляцион-

ной структуры свежего цементного теста. По физическим свойствам цементные смеси занимают промежуточное состояние между твердыми телами и вязкими жидкостями. С одной стороны, из-за сил вязкого трения, данные смеси обладают структурной вязкостью, а с другой стороны, отсутствием упругости формы и способностью к пластическим деформациям даже при незначительных нагрузках.



1 – корпус, 2 – протектор, 3 – разъем с выводами, 4 – пьезопластина

Рисунок 1. – Конструкция пьезоэлектрического преобразователя

Первоначально этот этап характерен наличием большого количества химически несвязанной (свободной) воды, в результате чего раствор обладает таким свойством, как подвижность, т.е. механическим перемещением смеси и ее отдельных компонент. Это связано с тем, что сразу после контакта поверхности вяжущего и воды начинается процесс растворения минералов клинкера и гипса [5]. Данный процесс сопровождается адсорбцией молекул воды и ослаблением поверхностных сил связи ионов и их комплексов в минералах, в результате чего возникает постоянная бомбардировка молекулами свободной воды поверхности из-за их броуновского движения (рис.2). Возникают контакты между возникшими и уже растущими частицами новой фазы, а также миграция воды и пузырьков газа, наблюдается микроусадка вследствие испарения воды [3]. Эти процессы приводят к потере связи между поверхностными ионами и массой минерала. Поэтому основным источником АЭ на данном уровне является именно подвижность. Необходимо отметить, что чем больше В/Ц-отношение, тем выше подвижность состава, а значит и выше активность регистрируемых импульсов АЭ.

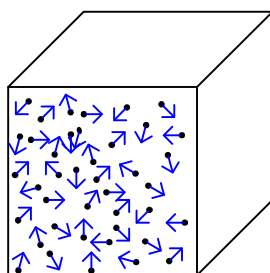


Рисунок 2. – Броуновское движение молекул воды на начальном этапе структурообразования

Второй период структурообразования соответствует субмикроскопическому уровню дисперсности ( $5 \cdot 10^{-9} < d \leq 10^{-7} \text{ м}$ ). На этом этапе происходят коагуляционное и кристаллизационное структурообразование, формирование порового пространства цементного камня, уменьшение химически несвязанной воды в результате гидратации, возникновение сил поверхностного взаимодействия - флокуляционных.

Цемент получают измельчением, помолом, в результате чего в клинкере и в добавках рвутся химические связи, материал измельчается, становится дисперсным и на поверхности частиц концентрируются как свободные электроны (радикалы), так и заряженные положительно поверхностные атомы [2]. Происходит притяжение между положительными ионами и поверхностными радикалами, что способствует образованию флоккул. Часть воды, которая еще не вступила в химическую реакцию, находится в неподвижном состоянии во флоккулах, а их объем пор большей частицы имеют малые размеры, вследствие чего силы гравитации проявляют себя незначительно. Цементная смесь обладает высокой связностью, но требует повышенного расхода воды и имеет малую подвижность, также следует отметить, что при нормальном барометрическом давлении теряется способность к массовой капиллярной конденсации влаги. На этом уровне характерно уменьшение подвижности раствора, а значит и снижение активности АЭ (рис. 3).

Количество свободной воды уменьшается, благодаря реакции гидратации ионов некоторым количеством молекул воды, в результате чего возникают условия для образования двойного электрического слоя на поверхности непрореагированного цементного зерна. Как правило, данное явление связывают с образованием новой фазы, образовавшейся в цементном тесте наряду с имеющимися изначально твердой (непрореагировавшие цементные зерна), жидкой (свободная вода), газообразной (вовлеченный и адсорбированный воздух) [5]. Все эти фазы обладают силами поверхностного натяжения на своих границах.

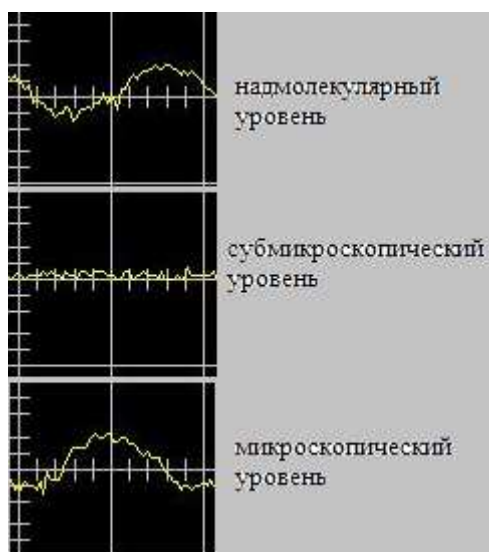


Рисунок 3. – Вид сигналов на осциллографе, возбуждаемых в цементном тесте при различных этапах структурообразования

Из-за реакции гидратации, а как следствие ростом тепловыделения, происходит диссипация энергии звуковых волн, в связи с чем, интенсивность акустических волн уменьшается, т.е. происходит затухание сигналов. К основным причинам затухания звуковых волн можно отнести рассеяние и поглощение. Рассеяние связывают с распространением акустических сигналов в строго не гомогенной среде. Отдельные составляющие среды, например, поры и инородные включения, имеют различную плотность и скорость распространения падающих лучей, а как следствие, и различное акустическое сопротивление (рис.4). Поглощение, как уже говорилось выше, в первую очередь напрямую связано с преобразованием звуковой энергии в тепловую. Как правило, поглощение тем больше, чем быстрее совершаются колебания, то есть чем выше частота звуковой волны. Следовательно, поглощение возрастает пропорционально увеличению частоты, то есть медленнее, чем рассеяние.

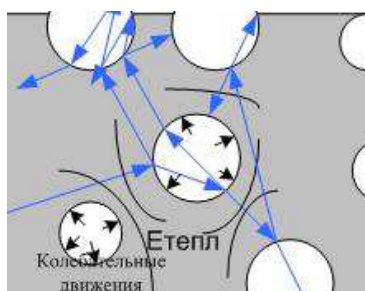


Рисунок 4. – Графическое изображение диссипации звуковой энергии

В данном периоде происходит растворение и осаждение продуктов химической реакции, а также образование гидросиликатов кальция коллоидных размеров на поверхности цементных зерен. Коллоидные частицы обладают такими свойствами, как способностью к броуновскому движению, ближней и дальней коагуляции, полупроницаемостью. Однако все вышеперечисленные процессы являются низкоэнергетическими. Учитывая этот факт и высокий коэффициент затухания акустических волн в цементном тесте, структура которого не сформирована на данном уровне, сигналы АЭ претерпевают сильное ослабление. Поэтому данному периоду - периоду стабилизации структурной прочности, характерно практически отсутствие сигналов, что видно из графиков рисунков 3, 5.

Следующий третий период – микроскопический уровень ( $10^{-7} < d \leq 5 \cdot 10^{-4}$  м), характеризуется образованием целостной структуры в виде кристаллитов на поверхности цементных зерен. Этот период плавно переходит в четвертый, они считаются самыми продолжительными. Данные периоды характеризуется ростом кристаллов в ограниченном объеме, что и является источником сигналов АЭ [6]. А из-за частично сформировавшейся структуры коэффициент затухания звуковых волн значительно ниже, чем в предыдущем периоде, что является следствием увеличения активности и амплитуды регистрируемых сигналов АЭ. К этому уровню относятся и дефекты структуры, возникающие в цементном камне в виде микротрещин при термическом напряжении, усадки.

Также нами были исследованы сигналы АЭ в образцах из цементного камня различного возраста, в режиме одноосного деформирования. На рисунке 6 представлена взаимосвязь между акустическими сигналами и деформационными изменениями в бетонных образцах.

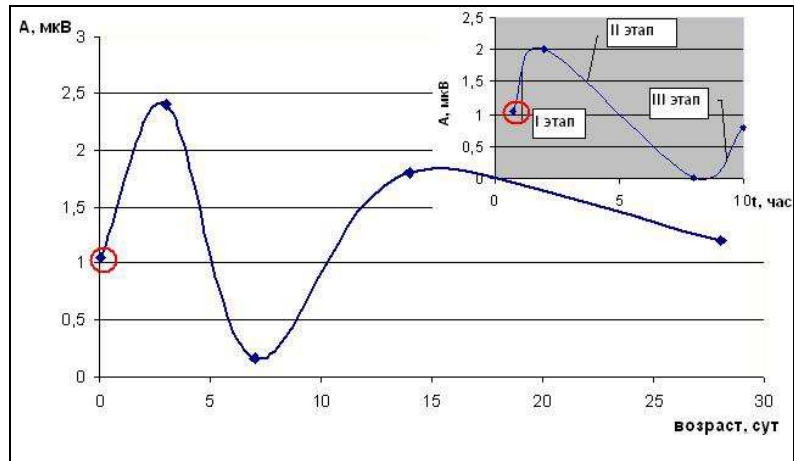
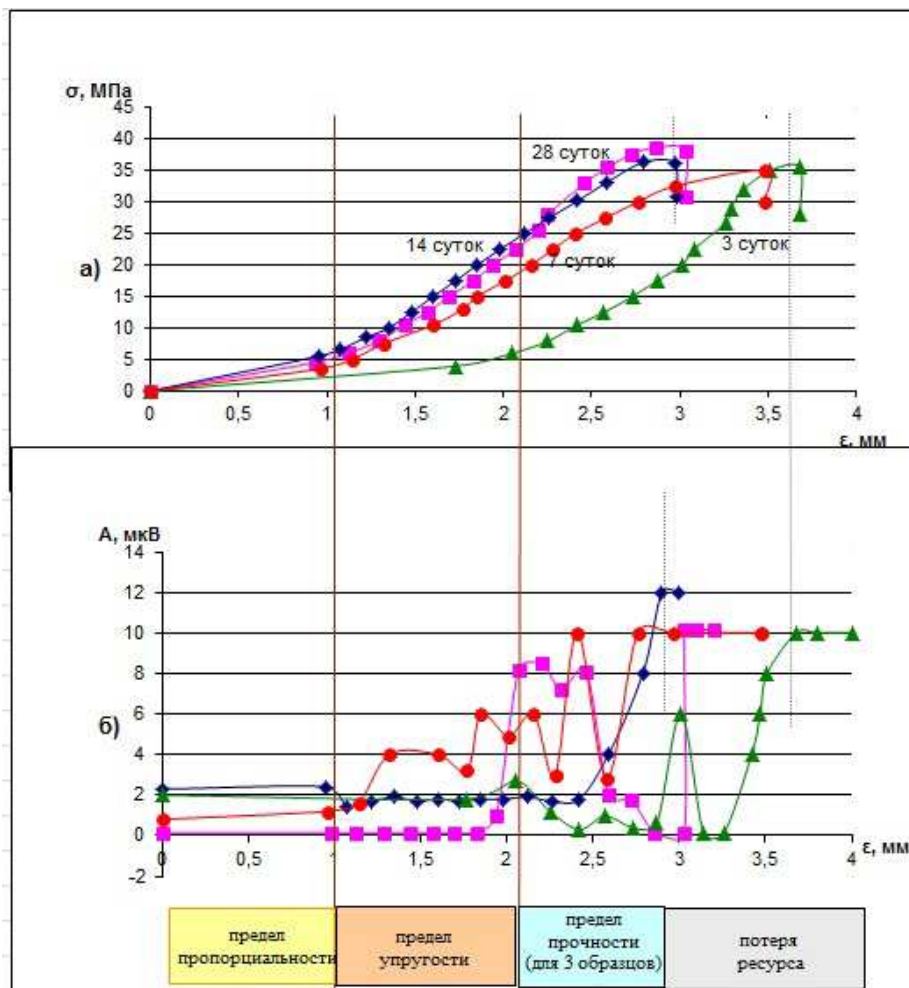


Рисунок 5. – Зависимость максимальной амплитуды сигнала акустической эмиссии от возраста образца



а – зависимость напряжений  $\sigma$  от относительной деформации  $\epsilon$ ;  
 б – зависимость максимальной амплитуды АЭ от деформации  $\epsilon$

Рисунок 6. – Взаимосвязь между прочностными и АЭ характеристиками бетонного камня различных возрастов

Образцы 14 и 28 суток по своим прочностным характеристикам практически не отличаются, чего нельзя сказать о сигналах АЭ. Для 14-суточного образца характерно практически отсутствие сигналов в области упругих деформаций, и только при переходе к пластическим деформациям возникает резкое увеличение амплитуды сигналов. Во всех образцах на начальном этапе – участке пропорциональности циклических испытаний генерируются акустико-эмиссионные сигналы, как по активности, так и по величине амплитуды незначительно отличающиеся друг от друга, активность сигналов резко возрастает в момент перехода от упругой деформации к пластическому течению, однако при дальнейшем нагружении образцов, на участке предела прочности наблюдается уменьшение регистрируемых импульсов АЭ, и как у всех исследуемых образцов при приближении к исчерпывающему ресурсу возникает резкое увеличение амплитуды сигналов и выходом на насыщение.

**Выводы.** Таким образом, с помощью регистрации данных акустической эмиссии, определена связь между этими сигналами и процесса структурообразования цементного камня. Опираясь на приведенные исследования, возникает возможность и ведутся дальнейшие работы в области определения ресурса бетона на этапе формирования его структуры при помощи метода акустической эмиссии в режиме реального времени, а также влияния различных добавок в составе на эволюцию напряженно-деформационного состояния на стадии твердения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sokratis N. ILIOPOULOS, Continuous AE monitoring of fresh concrete / Sokratis N. ILIOPOULOS, Evin Dzaye, Yassir EL KHATTABI, Dimitrios G. AGGELIS // JSNDI & IIIAE 2016, Progress in Acoustic Emission XVIII, 2016. – P. 293–298.
2. Вернигорова, В.Н. Химия композиционных материалов на неорганических вяжущих: моногр. / В.Н. Вернигорова, К.Н. Махамбетова, С.М. Саденко. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 163 с.
3. Ратинов, В.Б., Розенберг, Т.И. Добавки в Бетон. / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 103 с.
4. Бехер, С. А. Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии : учеб. пособие / С. А. Бехер, А. Л. Бобров. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2013. – 145 с.
5. Якимович, В.Д. Твердение портландцемента / В.Д. Якимович // Сб. трудов Проблемы современного бетона и железобетона, ч.2 Технология бетона, 2009. – С. 448 – 460.
6. Бардаков, В.В., Сагайдак, А.И. Прогнозирование прочности бетона в процессе его твердения при помощи метода акустической эмиссии / В.В. Бардаков, А.И. Сагайдак. // РАН: Дефектоскопия №6, 2017. – С.40 - 43.
7. Полак, А.Ф. Описание геометрической структуры дисперсных систем / А.Ф. Полак, В.В. Бабков, И.Ш. Фазулин, Р.Г. Хабибуллин // Совершенствование промышленного и гражданского строительства, ч. 2 Строительные материалы и конструкции, 1976. – С.5 - 20.
8. Aggelis, D.G.; Polyzos, D.; Philippidis, T.P. Wave dispersion and attenuation in fresh mortar: theoretical predictions vs. experimental results, Journal of the Mechanics and Physics of solids 2005. – P. 857–883.
9. Koen VAN DEN ABEELE, Geert DE SCHUTTER, Martine WEVER. Non Destructive Online Evaluation of Concrete Hardening Using Acoustic Emission and Harmonic Wave Spectroscopy, 2006. – P. 1–9.
10. Rustem Gul, Ramazan Demirboga, Tekin Guvercin. Compressive strength and ultrasound pulse velocity of mineral admixture mortars. – Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, v. 13, 2006. – P. 18–24.
11. Guang Ye, K. van Breugel, A.L.A. Fraaij. Experimental study on ultrasonic pulse velocity evaluation of the microstructure of cementitious material at early age. – HERON, v. 46, 2001. – P. 161–167.

УДК 691.335

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ СЕРОБЕТОНА НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ

*И.В. Лазовская<sup>1</sup>, В.В. Тур<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: i.lazouskaya@psu.by, vvtur@bstu.by

*В данной статье авторами проанализирована возможность изготовления новых для отрасли Республики Беларусь строительных материалов на основе серного вяжущего (серобетонов), исследованы прочностные свойства серобетонов, изготовленных с применением различных материалов, полученных из местных сырьевых источников, проанализировано влияние количественного процентного содержания серы как вяжущего в составе серобетона на прочность при одноосном кратковременном сжатии.*

**Ключевые слова:** *серобетон, наполнитель вяжущее, отходы нефтепереработки, новые строительные материалы*

## RESEARCH OF SULFUR CONCRETE COMPOSITIONS, BASED ON LOCAL RAW MATERIALS

*I. Lazouskaya<sup>1</sup>, V. Tur<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Polotsk State University, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Brest State Technical University, Republic of Belarus

e-mail: i.lazouskaya@psu.by, vvtur@bstu.by

*In this article, the authors analyzed the possibility of production of new construction materials for the construction industry of the Republic of Belarus based on sulfur binders (sulfur concrete), investigated the strength properties of sulfur concrete, based on various materials, obtained from local raw materials, analyzed the influence of the quantitative percentage of sulfur as a binder in sulfur concrete on the strength under uniaxial short-term compression.*

**Keywords:** *sulfur concrete, binder filler, oil refining waste, new building materials*

Общеизвестно, что вещества и элементы, редко встречающиеся в природе в значительных количествах, представляют интерес для производства товарной продукции. Это касается, в частности технической серы, которая используется при производстве резинотехнических изделий, косметики и лекарственных препаратов и пр. продуктов. Однако, анализ научно-технической информации показывает всплеск не только научного, но и коммерческого интереса к сере. Возникает вопрос, с чем это связано. Анализ нефтяного рынка показывает, что на данный момент нефть остается основным энергоресурсом в мире, при этом неуклонно растут требования к качеству производимых из нее углеводородов. Вместе с тем ужесточаются требования по содержанию в них остаточной серы. Отмечено, что на сегодняшний день существует несоответствие в объемах переработки нефти и, соответственно,

выделения из нее технической серы и объемах ее переработки и утилизации. Поиск прикладного и выгодного использования серы как побочного продукта нефтепереработки привел к появлению научных работ, а затем и реального производства новых строительных материалов – сероцемента, серобетона, сероасфальтобетона и др.

Первыми странами, изготовившими серобетон и изучившими его свойства, являются Канада и США. В России ведутся научные исследования по развитию производства строительных материалов на основе серы, создается нормативно-техническая документация, проводятся экспериментальные работы по применению сероасфальтобетона в реальных условиях. Поскольку в Республике Беларусь действует два нефтеперерабатывающих завода, а в Новополоцке завершается строительство установки углубленной переработки нефти по методу Клауса с выделением значительного объема серы, актуальной является задача по поиску, изучению и разработке составов серобетона с применением технической серы в качестве вяжущего, а также природных материалов и отходов иных производств региона.

Анализ результатов научных теоретических и практических изысканий показывает, что серосодержащие композиции обладают рядом положительных свойств, таких как высокая плотность, водонепроницаемость, гидрофобность, химическая стойкость, атмосферо- и морозостойкость. Отличительной особенностью материала на основе серы является быстрый набор проектной прочности, а также возможность повторного использования.

Вышеприведенные свойства показывают целесообразность использования серобетона и сероцемента, в частности, для изготовления берегоукрепляющих волнорезов, подземных хранилищ для агрессивных отходов, в т.ч. радиоактивных и пр., а также вяжущих в составе конструктивных серобетонов, инженерных сооружений: канализационных труб, коллекторных колец, очистных сооружений. В связи с этим, в настоящее время в мире проводится большой объем научных исследований, связанных с подбором рецептур и технологий изготовления бетонов на основе серного вяжущего.

Республика Беларусь располагает значительными природными запасами индустриального строительного сырья – доломита, мергеля, трепела и пр., кроме того возможность использования крупнотоннажных промышленных отходов - золы уноса ТЭЦ, отходов керамзитового производства и пр. Также в Беларуси имеются значительные запасы др. строительных материалов: песка, гравия, щебня. Использование отечественного сырья позволит создать новые качественные и долговечные строительные материалы с низкой себестоимостью, а также частично решит экологическую проблему региона, значительно снизив загрязнение окружающей среды.

Исследовательская работа включала анализ и подбор рецептуры композиции бетона, содержащая различные местные сырьевых минеральных компоненты, отходы производств и товарной сертифицированной серы, как побочного продукта нефтепереработки.

Задача данного исследования состоит в анализе влияния вида наполнителей на основе местного сырья и содержания серы в составе смеси на прочность серобетона при одноосном кратковременном сжатии.

В качестве составляющих для изготовления образцов из серобетонов различных составов использовались следующие материалы: сера техническая [3]; доломитовая му-



ка – [4] (образцы серии №1, 2); зола Белорусской ГРЭС (г.п. Ореховск Витебской области) (образцы серии №3-5); гранитный щебень [5]; карьерный песок [6]; йод кристаллический [7]. Для изготовления образцов серии №3-5 применялась зола уноса, полученная в результате отбора проб из отвалов, в разное время. Данные по химическому компонентному составу известны только для золы одной пробы (см. таблица 1).

Предварительно подготовленные компоненты смеси (фракционирование заполнителей, промывка, просушка заполнителя и инертного наполнителя до постоянной массы) перемешивали при температуре 145-155 °С, далее формовали и виброуплотняли. После остывания образцов произвели расформовку.

Испытания по определению прочности при одноосном кратковременном сжатии проводились на пяти партиях опытных образцов-кубов с ребром 100x100 мм, изготовленных из серобетонной смеси. Часть образцов испытана в соответствии с [8] в возрасте одних суток, другая – спустя 28 суток. Это проводилось для установления скорости набора прочности и потери прочности с течением времени (28 суток).

В таблицах 1 и 2 приведены данные по компонентному составу серобетонных смесей и их прочность, определенная по результатам испытаний.

Таблица 1. – Состав сырья серосодержащих бетонных смесей по основным компонентам %, масс.

№ серии образца	Наполнитель	CaO,%	Ca,%	SiO <sub>2</sub> ,%	Si,%	MgO,%	Mg,%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,%
								Fe,%	Al,%
1-2	Доломитовая мука	30,4-31,0	21,7	1,65	0,83	21,7	13	0,35	0,37
3-4	Зола уноса проба 1	20,1-22,1	13,8-15,5	20,2-43,26	3,58	3,58	2,15	15,2-19,7	8,56 5,7

Таблица 2. – Варианты составов серобетонных смесей и их прочность при сжатии

№ серии образцов	Сера, % масс	Щебень, % масс	Песок, % масс	Песок, % масс	Доломит, % масс	Зола уноса, % масс	Средняя прочность, МПа	
							Возраст, сут.	
							1	28
1	25	37	20	20	18	-	59,3	59,6
2	25	45	15	15	15	-	60,7	60,2
3	25	37	20	20	-	18	61,0	60,5
4	25	45	15	15	-	15	62,5	61,2
5	20	40	25	25	-	15	41,0	39,2

Из табл.1 видно, что в доломите преобладают оксиды кальция и марганца, их содержание значительно больше, чем в золе уноса, однако концентрация кремния оксида на порядок выше (43,26%) в золе уноса. Эти факторы существенно не сказались на колебаниях значений прочности образцов – они составили 59-62 МПа при одноосном кратковременном сжатии.

Анализируя результаты, можно предположить, что основными факторами, определяющими прочность образцов при сжатии, является сера и ее взаимодействие с мелкодисперсным наполнителем, а также прочностные свойства наполнителя. Кристаллизованная модифицированная сера в сочетании с наполнителем, крупным и мелким заполнителем создают организованную монолитную структуру, обеспечивая прочностные качества серобетона.

Необходимо отметить, что, поскольку в экспериментах использовалось две пробы золы-уноса, прочность при одноосном сжатии образцов №3-5 существенно различалась. Объяснить это можно непостоянством свойств золы, связанным с использованием различных видов топлива, его качеством (составом) и технологий сжигания. В частности, непосредственно на Белорусской ГРЭС г.п. Ореховск Витебской области сырьем попеременно и/или одновременно служат щепка (древесный отход) и торф., переменный температурный режим сжигания. При данных условиях невозможно обеспечить стабильность химического состава золы уноса и, как следствие, постоянство свойств серобетонных с данным наполнителем.

Другим вопросом, который рассматривался в рамках проведенных исследований, являлось определение количества серы как вяжущего для изготовления серобетона. Для этого были проведены предварительные испытания на прочность при одноосном кратковременном сжатии образцов, изготовленных с различным содержанием серы (от 10% до 30%). В качестве наполнителя использовалась доломитовая мука. Всего было испытано 4 серии опытных образцов-кубов с размером грани 100мм, по 2 образца-близнеца в каждой серии. Средняя плотность всех опытных образцов составила 2436кг/м<sup>3</sup>.

Составы для изготовления опытных образцов, а также результаты испытаний на прочность при сжатии показаны в таблице 3.

Таблица 3. – Варианты составов опытных образцов серобетонных смесей и их прочность при одноосном сжатии

№ серии образцов	Содержание серы, % масс	Содержание щебня, % масс	Содержание песка, % масс	Содержание доломитовой муки, % масс	Средняя прочность, МПа
1	10	45	25	20	49
2	15	45	25	15	62
3	25	45	15	15	60,7
4	30	35	15	20	42

**Выводы.** Исследованы прочностные свойства серобетонных, изготовленных с применением различных наполнителей, полученных из местных сырьевых источников (Зола

уноса ТЭЦ, доломитовая мука). При этом отмечено непостоянство химического состава золы уноса, связанного с изменчивостью используемого топлива и тепловых режимов его сжигания. Данное непостоянство свойств оказывает существенное влияние на прочность конечного серобетона. Помимо этого, в работе проанализировано влияние количественного процентного содержания в составе серобетона серы как вяжущего на прочность при сжатии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Невельский, А. Добыча нефти в мире впервые достигла 100 млн. баррелей в день. /г. Ведомости (Бизнес/ТЭК), 13.09.2018– Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/newspaper/last>. – Дата доступа: 10.11.2019.
2. Волгушев, А.Н. Применение серы в строительстве /А.Н. Волгушев// Аналитический портал химической промышленности Newchemistry.ru. – Режим доступа: [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=4348](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=4348). – Дата доступа: 30.08.2019.
3. ГОСТ 127.1-93. Сера техническая. Технические условия. Введ. 1997-01-01.
4. ГОСТ 14050-93. Мука известняковая (доломитовая). Технические условия. Введ. 1995-01-01
5. ГОСТ 8237-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1-4) Введ. 1995-01-01
6. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой) Введ. 1989-07-01
7. ГОСТ 4159-79. Реактивы. Йод. Технические условия. Введ. 1980-07-01
8. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Введ. 2013-07-01.

УДК 543.42

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАРОГАЗОВОЙ ОБРАБОТКИ  
НА ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА УГЛЕРОДНОГО НАНОМАТЕРИАЛА,  
ИСПОЛЪЗУЕМОГО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАБОРА ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОГО БЕТОНА

*Е.Н. Полонина<sup>1</sup>, С.Н. Леонович<sup>1</sup>, С.А. Жданок<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск

<sup>2</sup>Передовые исследования и технологии, Минский р-н, д. Лесковка

e-mail: grushevskay\_en@tut.by, snleonovich@yandex.ru, ceo@art-pte.com

*В данной статье представлены результаты исследований ИК-спектров пропускания углеродных наноматериалов (УНМ), полученных газовым пиролизом и подвергнутых нагреву в присутствии паров воды. Целью исследования являлось определение влияния высокотемпературной парогазовой обработки на изменение фазового состава УНМ. Метод инфракрасной спектроскопии позволяет исследовать состав и строение различных веществ, а также дает возможность получать информацию о строении поверхности, характеризовать центры адсорбции и их взаимодействие с адсорбированным веществом. Полученные данные объясняют предположенный ранее механизм повышения набора прочности цементного камня.*

**Ключевые слова:** углеродный наноматериал, ИК-спектроскопия, спектрометр, активация, функциональная группа.

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF A HIGH-TEMPERATURE STEAM-GAS TREATMENT  
ON THE CHANGE OF THE PHASE COMPOSITION OF THE CARBON NANOMATERIAL  
USED TO INCREASE THE STRENGTH OF STRENGTH OF CONSTRUCTION CONCRETE

*E. Polonina<sup>1</sup>, S. Leonovich<sup>1</sup>, S.A. Zhdanok<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk

<sup>2</sup>Advanced Research and Technology, Minsk region, Leskovka village

e-mail: grushevskay\_en@tut.by, snleonovich@yandex.ru, ceo@art-pte.com

*This article presents the results of studies of the IR transmission spectra of carbon nanomaterials (CNMs) obtained by gas pyrolysis and subjected to heating in the presence of water vapor. The aim of the study was to determine the effect of high-temperature vapor-gas treatment on the change in the phase composition of the CNM. The method of infrared spectroscopy allows one to study the composition and structure of various substances, and also makes it possible to obtain information about the surface structure, to characterize adsorption centers and their interaction with adsorbed matter. The data obtained explain the previously hypothesized mechanism of increasing the strength gain of cement stone.*

**Keywords:** carbon nanomaterial, IR spectroscopy, spectrometer, activation, functional group.

В работах [1-4] установлено положительное влияние пластифицирующей добавки, содержащей в своем составе углеродный наноматериал, на свойства бетонных смесей и тяжелого бетона. Показано [5-10], что ИК-спектроскопия является одной из наиболее

эффективных и универсальных экспресс-методик выявления структурных особенностей УНМ. С помощью данного метода можно получать информацию о дефектах строения, типе примесных соединений и их относительном содержании в углеродном материале. Кроме того, используемый метод позволяет оценить степень совершенства кристаллической структуры углеродного материала и его однородности, а также определить природу и относительное содержание функциональных групп на его поверхности.

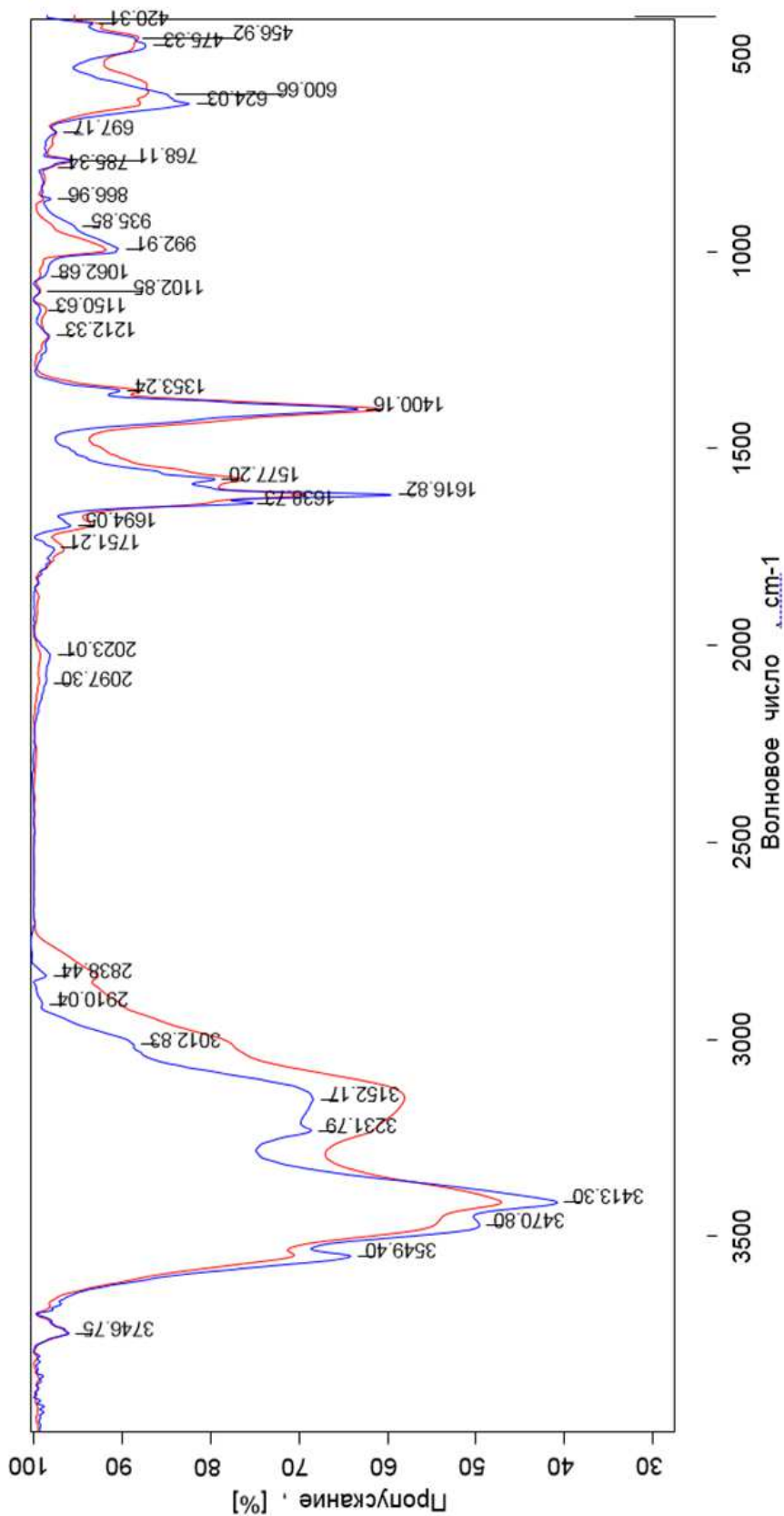
Спектры комбинационного рассеяния света регистрировали при комнатной температуре на ИК-Фурье спектрометре Tenzor-27 (Bruker, Германия) в интервале волновых чисел 400-4000  $\text{см}^{-1}$  с разрешением 4  $\text{см}^{-1}$ , с количеством сканов -100. Образцы готовили прессованием тщательно гомогенизированной смеси со спектрально чистым бромистым калием в массовом соотношении 1: 2000. Образцом сравнения служил исходный УНМ, не подвергавшийся дополнительной обработке [11-13].

Как известно, графит и графитоподобные структуры, в том числе фуллерены и нанотрубки, представлены  $sp^2$ -гибридизированным углеродом. Для углерода ( $sp^2$ -гибридизации) в ИК-области колебания неактивны, но проявляются только в спектрах комбинационного рассеяния. Примесные соединения в структуре углерода и хемосорбированная вода изменяет группу симметрии колебаний, делая их оптически активными в области ИК. В этом случае, в диапазоне типичных рамановских частот молекулярных форм  $sp^2$ -гибридизированного углерода, в спектре поглощения также наблюдаются соответствующие полосы - полоса G при 1600-1500  $\text{см}^{-1}$  и D – при 1450 -1250  $\text{см}^{-1}$ . Он принадлежит внутривибрационным колебаниям атомов, упорядоченных и разупорядоченных графеновых слоев соответственно.

На рисунке 1 приведены ИК-спектры исходного и активированного образцов УНМ. На рисунке 2–4, для качественной идентификации, прописаны определенные участки ИК-спектров. В спектре исходного образца углеродных нанотрубок (не прошедших активацию) полоса G является сложной полосой с двумя минимумами при 1617 и 1578  $\text{см}^{-1}$  и едва заметным плечом при 1639  $\text{см}^{-1}$ . Согласно литературным данным, расщепление этой полосы на две составляющие является признаком многостенных нанотрубок.

Слабо проявляющееся плечо при 1639  $\text{см}^{-1}$  обусловлено содержанием в структуре незначительного количества карбонильных групп. Карбонильные группы возникают, по видимому, за счет адсорбции атмосферной влаги поверхностью углеродных нанотрубок. О наличии некоторого количества кислородсодержащих функциональных групп в исходном образце могут свидетельствовать также полосы поглощения при 1696 и 1754  $\text{см}^{-1}$ . Отношение интегральных интенсивностей полос D и G в исходном образце равно  $\sim 1$ , что указывает на достаточно высокую степень разупорядоченности.

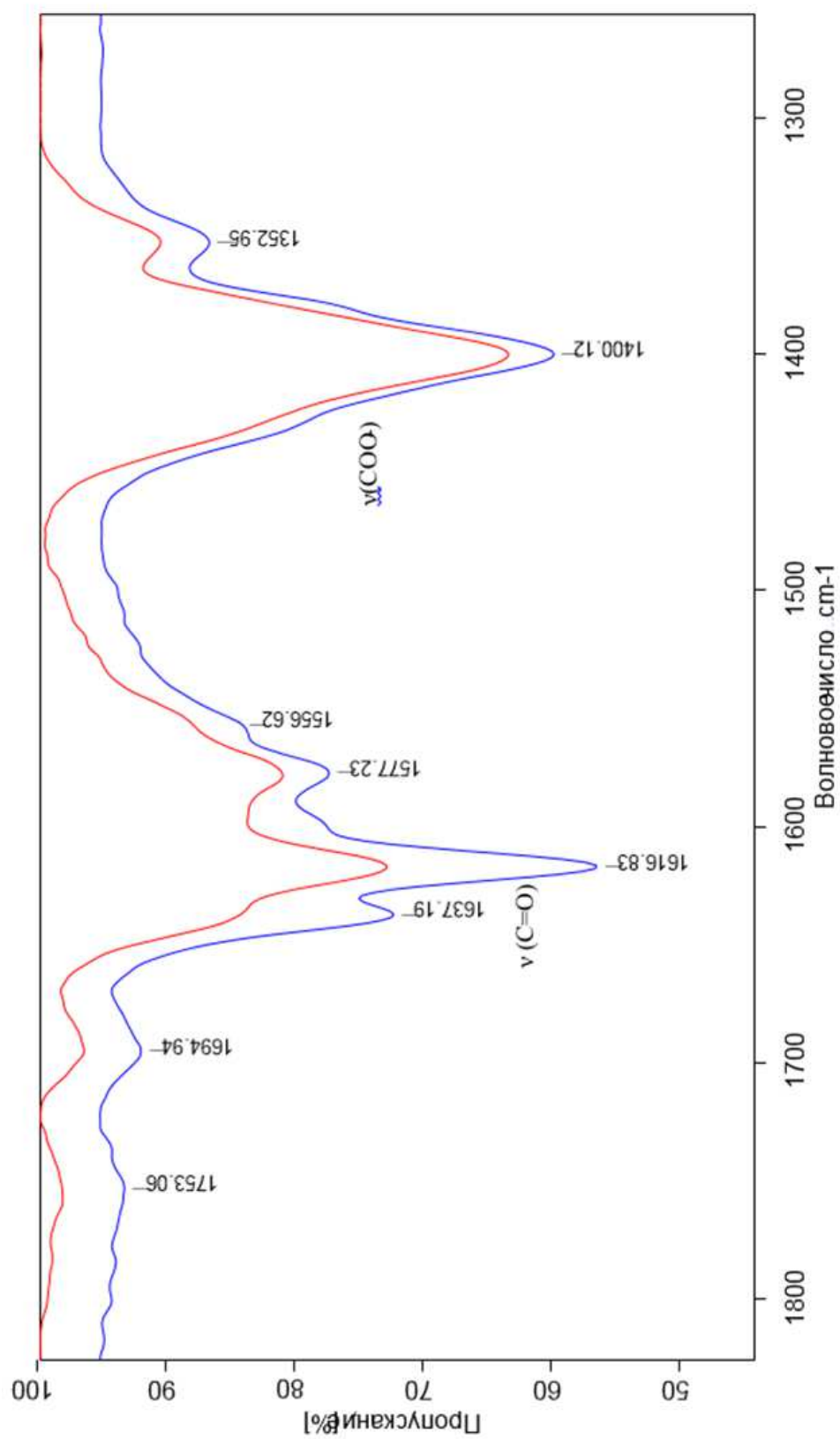
В спектре исходных углеродных нанотрубок в области валентных колебаний C-H групп алкильной группировки (2950-2800  $\text{см}^{-1}$ ) наблюдаются полосы очень слабой интенсивности. Полоса асимметричных валентных колебаний при 2910  $\text{см}^{-1}$  практически перекрывается широкой полосой валентных колебаний O-H. Такой характер спектра в описанной области, а также отсутствие в спектре полосы деформационных колебаний в области 1470-1450  $\text{см}^{-1}$  свидетельствуют о незначительном содержании в материале алкильных групп. Отсутствие деформационных колебаний в области 1470-1450  $\text{см}^{-1}$ , возможно объясняется перекрытием полосой D. Следы алкильных групп в ИК-спектре исходных углеродных нанотрубок обусловлены остатками или промежуточными продуктами углеводородов, из которых синтезируют углеродный материал.



Активированный - синий  
Исходный - красный

ИК-Фурье спектрометр Tensor-27, образец запрессован в таблетку с КВг -0.4/800мг.

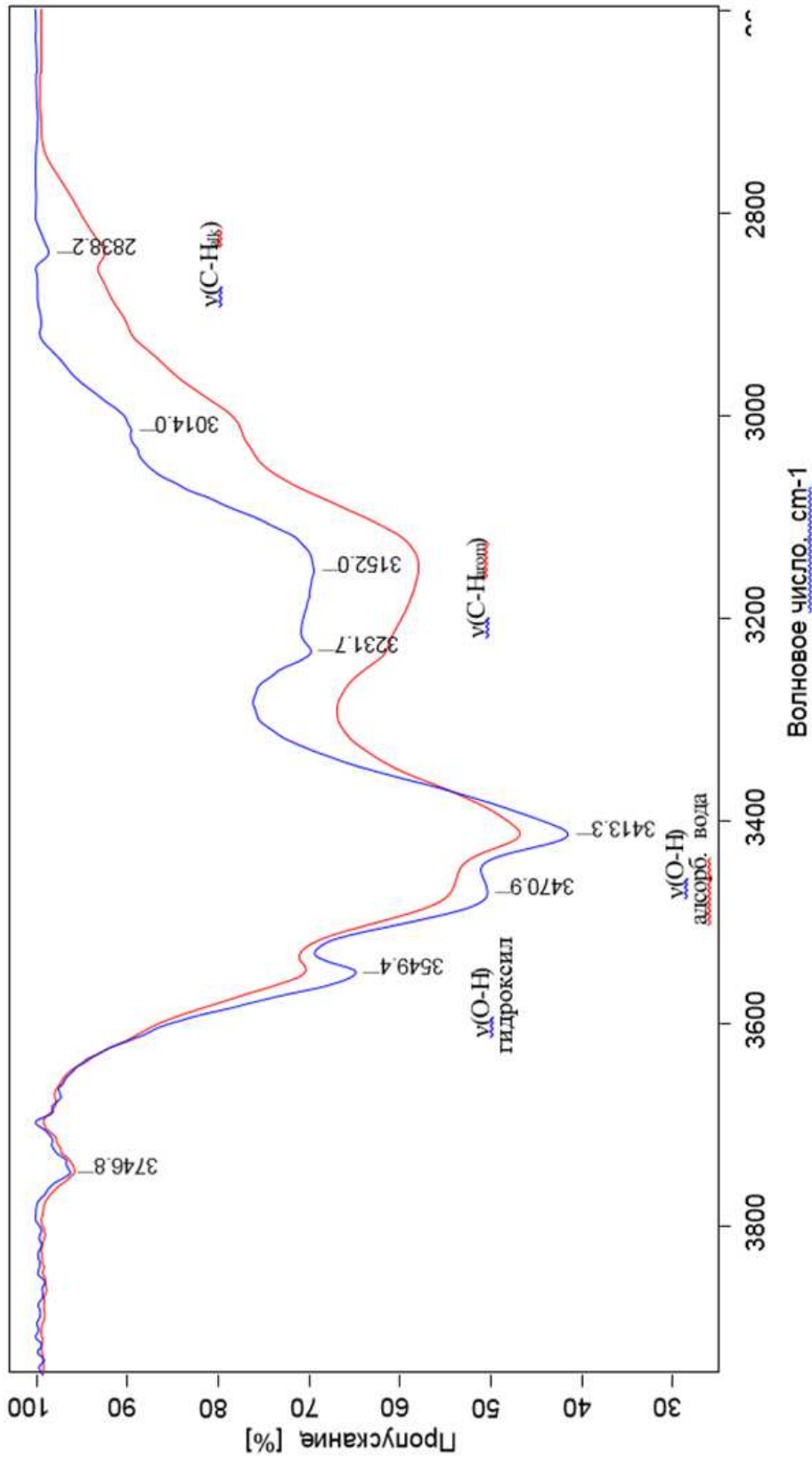
Рисунок 1. — ИК-спектры исходного и активированного образцов (весь диапазон)



Исходный - красный  
 Активированный - синий

ИК-фурье спектрометр Tenzo-27, образец запрессован в таблетку с KBr -0.4/800мг.

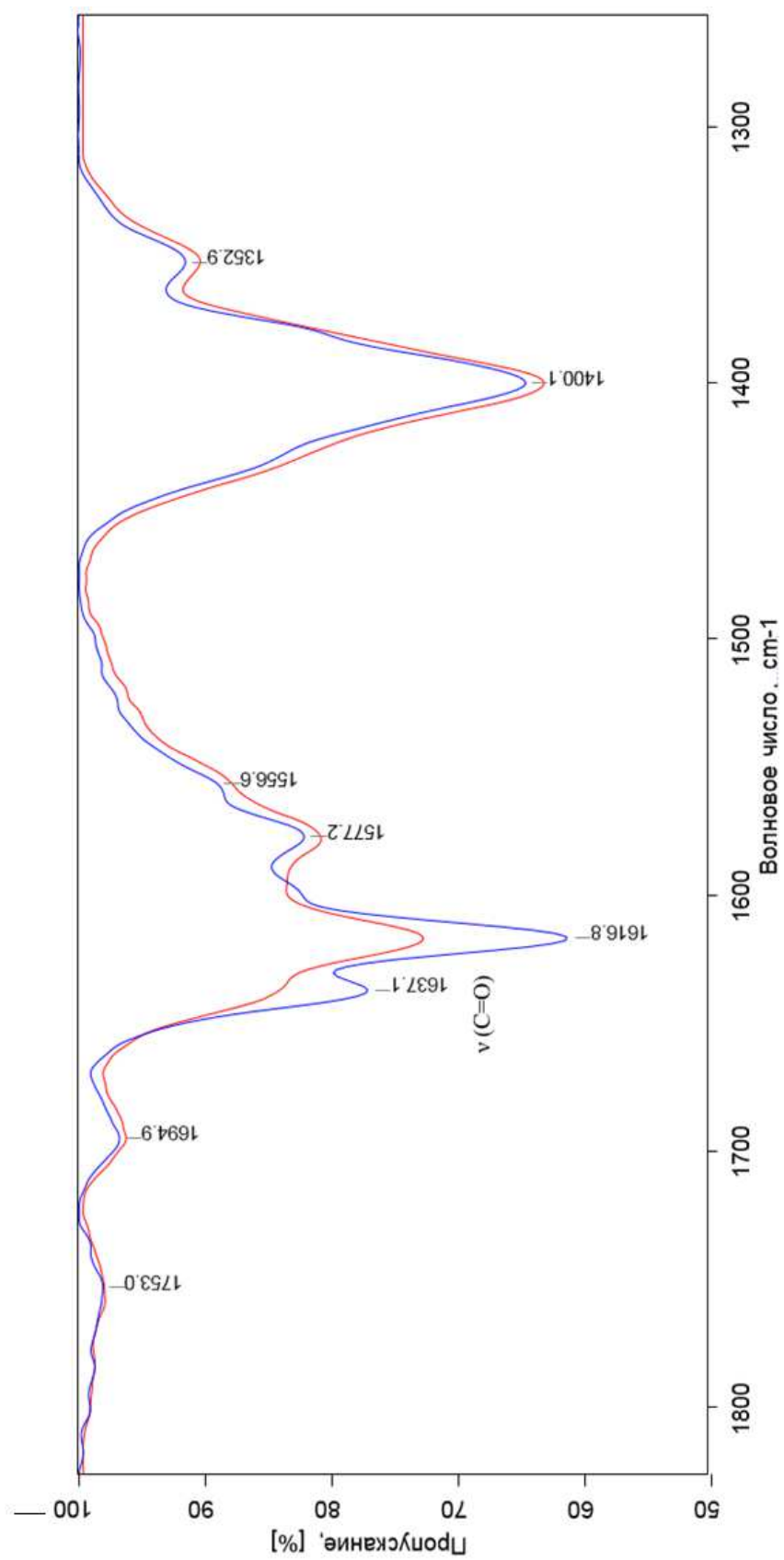
Рисунок 2. —ИК-спектры исходного и активированного образцов (диапазон, включающий область колебаний карбоксильной группы)



ИК-Фурье спектрометр Tensor-27, образец запрессован в таблетку с KBr -0.4/800мг.

Рисунок 3. — ИК-спектры исходного и активированного образцов (диапазон, включающий область валентных колебаний гидроксила)





ИК-Фурье спектрометр Tensor-27, образец запresseван в таблетку с KBr -0.4/800мг.

Исходный - красный

Активированный — синий

Рисунок 4. — ИК-спектры исходного и активированного образцов (диапазон, включающий область колебаний карбонильной группы)

В ИК-спектре активированного образца плечо при  $1639\text{ см}^{-1}$  выделяется в самостоятельную, достаточно интенсивную полосу. Это позволяет говорить об увеличении в процессе активации в структуре углеродных нано трубок количества карбонильных групп.

Все эти изменения в спектрах позволяют предполагать, что реакционно - способными центрами для функционализации углеродного материала могут являться места локализации групп, содержащих С-Н связь. Причем, на основании сравнительного анализа ИК-спектров исходного и активированного образцов можно предполагать, что свойства и области применения углеродных нанотрубок будут определять не только алкильные группы. Следует отметить, что содержание алкильных групп в активированном углеродном материале невелико.

Исходный углеродный материал плохо смачивается водой, так как алкильные группы и С-Н-группы, по-видимому, и определяют гидрофобный характер поверхности.

Влияние высокотемпературной активации на характер поверхности нанougлерода представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Влияние высокотемпературной активации

Параметр	Температура нагрева нанougлерода, °С	
	20	900
Характер поверхности нанougлерода (Время впитывания капли воды в углеродный нано материал)	Более 30 мин	Менее 1 с

Соотношение интенсивностей полос D и G характеризует степень дефектности графеновых слоев. У активированного образца углеродных нанотрубок степень дефектности графеновых слоев составляет 0,86, в то время как у исходного – 1,04. Снижение степени дефектности графеновых слоев дает основание говорить о упорядочивании структуры углеродного материала в процессе активации.

Таким образом, анализ ИК-спектров исходного и активированного образцов углеродных нанотрубок обнаруживает появление в углеродном материале карбонильных и гидроксильных функциональных групп. Т. к. карбонильные и гидроксильные группы являются составляющими карбоксильной группы, одновременное присутствие в ИК-спектре и увеличение их интенсивности в процессе активации позволяет заключить об образовании карбоксильных групп в углеродных нанотрубках в результате их функционализации.

**Заключение.** На основании спектроскопических исследований показано, что реакционно способными центрами для функционализации углеродного материала могут быть места локализации С-Н-групп, связанных с ароматическими графеновыми кольцами. Кроме того, на основании ИК-спектра, можно сделать вывод, что в процессе активации также наблюдается значительное упорядочивание структуры углеродного материала, что приводит к повышению прочности конструкционного бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жданок, С.А. Повышение прочности бетона пластифицирующей добавкой на основе наноструктурированного углерода/ С.А. Жданок, Е.Н. Полонина, С.Н. Леонович, Б.М. Хрусталев,

- Е.А. Коледа // Строительные материалы/ Научно-технический и производственный журнал. – 2018. – №6. – С. 67–72
2. Жданок, С.А. Влияние пластифицирующей добавки, содержащей углеродный наноматериал, на свойства самоуплотняющегося бетона/ С.А. Жданок, Е.Н. Полонина, С.Н. Леонович, Б.М. Хрусталева, Е.А. Коледа // Вестник гражданских инженеров Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. - Санкт-Петербург, – 2018. №6 (71) –С.76–85
  3. Жданок, С.А. Физико - механические характеристики бетона, модифицированного пластифицирующей добавкой на основе наноструктурированного углерода/ С.А. Жданок, Е.Н. Полонина, С.Н. Леонович, Б.М. Хрусталева, Е.А. Коледа // Инженерно-физический журнал. – 2019. – Т. 92, №1 (январь-февраль) – С.14–20
  4. Жданок, С.А. Влияние пластифицирующей добавки на основе наноструктурированного углерода в самоуплотняющейся бетонной смеси на ее технологические свойства/ С.А. Жданок, Е.Н. Полонина, С.Н. Леонович, Б.М. Хрусталева, Е.А. Коледа // Инженерно-физический журнал. – 2019. Том 92, №2 (март-апрель) – С.391–396
  5. Смит, А. Прикладная ИК-спектроскопия. – М.: Мир, 1982. – 328 с.
  6. Михайлова, Е. С. Установка для подготовки и проведения ИК-спектроскопических исследований углеродных наноматериалов / Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов, В.В. Кузнецов, О.Ю. Подъячева, А.С. Чичкань, А.В. Сальников, В.В. Чесноков // Вестник КузГТУ. – 2017. – №4 (122). С.155–163.
  7. Кесслер, И. Методы инфракрасной спектроскопии в химическом анализе. –М.: Мир, 1964. – 288 с.
  8. Иогансен, А.В. Структурно-групповой анализ по инфракрасным спектрам // ХТТМ. 1962. –№5. – С.16–22.
  9. Зинюк, Р.Ю. ИК-спектроскопия в неорганической технологии/ Р.Ю. Зинюк, А.Г. Балыков, И.Б. Гавриленко, А.М. Шевяков –Л.:Химия, Ленингр. отд., 1983. – 158 с.
  10. Овчинников, М.М. Изучение аллотропных форм углерода методом ИК спектроскопии/ М.М. Овчинников, М.В. Лавриенко, Г.Н. Подгорный, П.М. Пахомов //Физико-химия полимеров: синтез, свойства и применение. – 2003. – № 9. – С. 44–49.
  11. Жданок, С.А. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы/ С.А. Жданок, Б.М. Хрусталева, Э.И. Батяновский, С.Н. Леонович // Вестник БНТУ. – 2009. – № 3. – С. 5–22.
  12. Жданок, С.А. Установка для получения углеродных наноматериалов/ С.А. Жданок, А.В. Крауклис, П.П. Самцов, В.М. Волжанкин // Патент 2839 РБ, МПК В82В 3/00 /; Оpubл. 30.06.2006.
  13. Жилинский, В.В. Способ получения углеродных наноразмерных материалов/ В.В. Жилинский, В.Б. Дроздович, С.А. Жданок, И.М. Жарский // Патент 15341 РБ, МПК7 С 01В 31/02, В 82В 3/00; Оpubл. 22.08.2012.

УДК 624.012.4

**КОМПЛЕКСНАЯ НАНОДИСПЕРСНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА*****Е.Н. Полонина, С.Н. Леонович***

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: grushevskay\_en@tut.by, snleonovich@yandex.ru

*Внедрение новых технологий, отвечающих требованиям экологической безопасности и ресурсосбережения, позволит модернизировать производство монолитных работ в Республике Беларусь, что является одной из актуальных задач современного строительства. Снижения затрат в строительстве можно решить путем совершенствования бетонных смесей при монолитном бетонировании. В данной статье представлены результаты исследования двух видов наноматериалов, входящих в состав комплексной системы. Выявлен прирост прочности на сжатие в сравнении с добавкой, содержащий только один нанокomпонент при одинаковом расходе компонентов бетонной смеси. В результате проведенных испытаний установлены оптимальная дозировка нанокomпонентов в добавке и оценены физико-механические свойства получаемого бетона.*

**Ключевые слова:** водный золь нанокремнезема, углеродные нанотрубки, суперпластификатор, тяжелый бетон, прочность.

**INTEGRATED NANODISPERSION SYSTEM  
FOR MODIFICATION OF HEAVY CONCRETE*****E. Polonina, S. Leonovich***

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: grushevskay\_en@tut.by, snleonovich@yandex.ru

*The introduction of new technologies that meet the requirements of environmental safety and resource conservation will make it possible to modernize the production of monolithic works in the Republic of Belarus, which is one of the urgent tasks of modern construction. Cost reduction in construction can be solved by improving concrete mixtures with monolithic concreting. This article presents the results of a study of two types of nanomaterials that make up the complex system. An increase in compressive strength was revealed in comparison with an additive containing only one nanocomponent at the same consumption of concrete mix components. As a result of the tests, the optimal dosage of nanocomponents in the additive was established and the physicomachanical properties of the resulting concrete were evaluated.*

**Keywords:** water sol of nanosilica, carbon nanotubes, super-plasticizer, heavy concrete, strength.

Минеральные вяжущие вещества, используемые для производства тяжелого бетона, несмотря на свои преимущества, обладают рядом недостатков и требуют введения модифицирующих добавок. Эффективность применения пластифицирующих добавок в бетонных смесях доказана временем и опытом. Однако вопросы по уплотнению структуры и заполнению пустот между частицами цемента на данный момент остаются открытыми. Имея весьма большие значения удельной поверхности, наноразмерные частицы способны влиять на физико-механические характеристики нового материала. Из анализа литературы видно, что наноматериалы, такие как углеродные нанотрубки и нанокремнезем, первоначально использовались только как средство для увеличения прочностных характеристик модифицированного бетона. Чуть позже стало известно, что использование данных наноматериалов совместно с пластифицирующими добавками обеспечивают эффективное снижение воды и повышение долговечности (морозостойкости) созданного бетона [1-4].

Гипотезой исследования является то, что совместное действие компонентов нанодисперсной системы, состоящей из нанокремнезема, многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) и суперпластификатора существенно превзойдет результат влияния каждого отдельного наноконпонента добавки.

В исследованиях использовались:

- портландцемент ЦЕМ I 42.5Н по ГОСТ 31108 ОАО «Красносельскстройматериалы»;
- мелкий заполнитель - карьерный песок;
- крупный заполнитель - щебень фракции 5-20 мм;
- водный золь нанокремнезема  $\text{SiO}_2$  (NS), полученный из гидротермальных теплоносителей [5];
- углеродные нанотрубки (MLCNT) [6,7];
- суперпластификатор из серии высокоэффективных по водоредуцирующей способности поликарбоксилатов в виде водного раствора (SP).

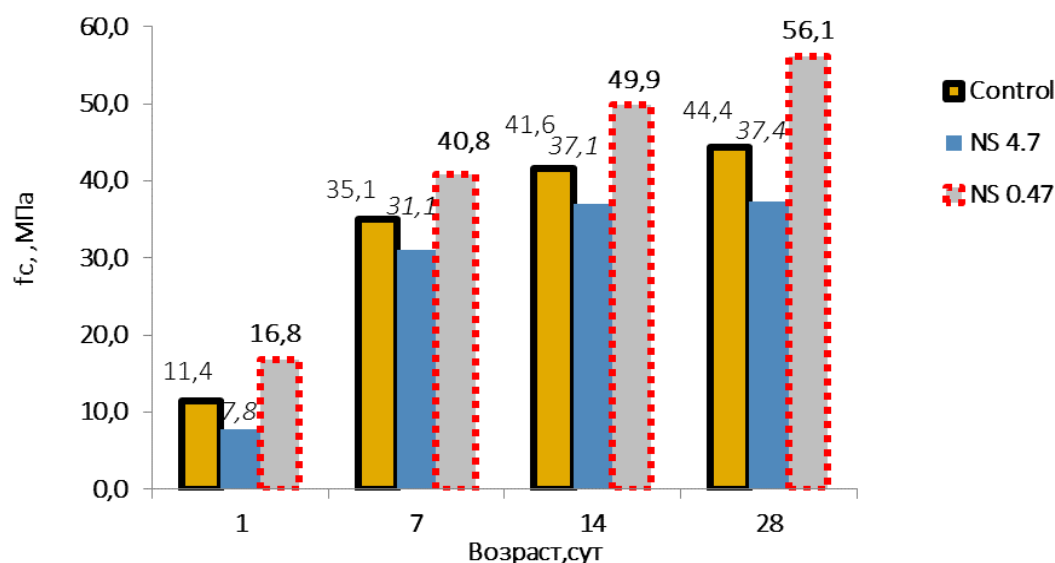
С целью изучения влияния наноматериалов на основные свойства тяжелого бетона были изготовлены добавки и проведены серии лабораторных исследований. Количество вводимой добавки во всех исследуемых составах составляла 0.8% от массы цемента. Для испытаний прочности на сжатие испытывались образцы-кубики размером 100×100×100 мм.

Для определения влияния водного золя нанокремнезема на прочностные характеристики бетона, его предварительно смешивали с водой затворения, равномерно распределяя по всему объему, после чего воду вводили в бетонную смесь. Смесью заполняли гнезда формы-куба, которую устанавливали на вибрационном столе и уплотняли. После изготовления образцы расформовывали и хранили в ваннах с водой до достижения определенного возраста. Испытания образцов на прочность при сжатии проводили на 1-е, 7-е, 14-е и 28-е сутки.

Полученные данные показали, что при содержании золя нанокремнезема  $\text{SiO}_2$  в количестве 0.1 мас. % по цементу (NS 0.47) приращение прочности при сжатии по сравнению с контрольным образцом (Control) составило на первые сутки – +30%, на 28-е – +20 % (рис. 1).

При этом выявлено, что увеличение концентрации данной нанодобавки NS 4.7 приводит к понижению прочности в 1.2 раза, что говорит о целесообразности использования суперпластификатора в данной системе.

Способ приготовления используемой в дальнейшем пластифицирующей добавки заключается в диспергации суперпластификатора и наноматериала (нанокремнезема или нанокремнезема или нанокремнезема или нанокремнезема) в смесителе в течение нескольких минут. После чего изготавливались и испытывались образцы бетона по выше изложенной методике.



Control – контрольный образец без добавки; NS 4.7 – образец, содержащий добавку золя нанокремнезема с концентрацией твердого SiO<sub>2</sub>, равной 4.7 г/кг; NS 0.47 – образец, содержащий добавку золя нанокремнезема с концентрацией твердого SiO<sub>2</sub>, равной 0.47 г/кг

Рисунок 1. – Влияние золя нанокремнезема на прочностные характеристики тяжелого бетона

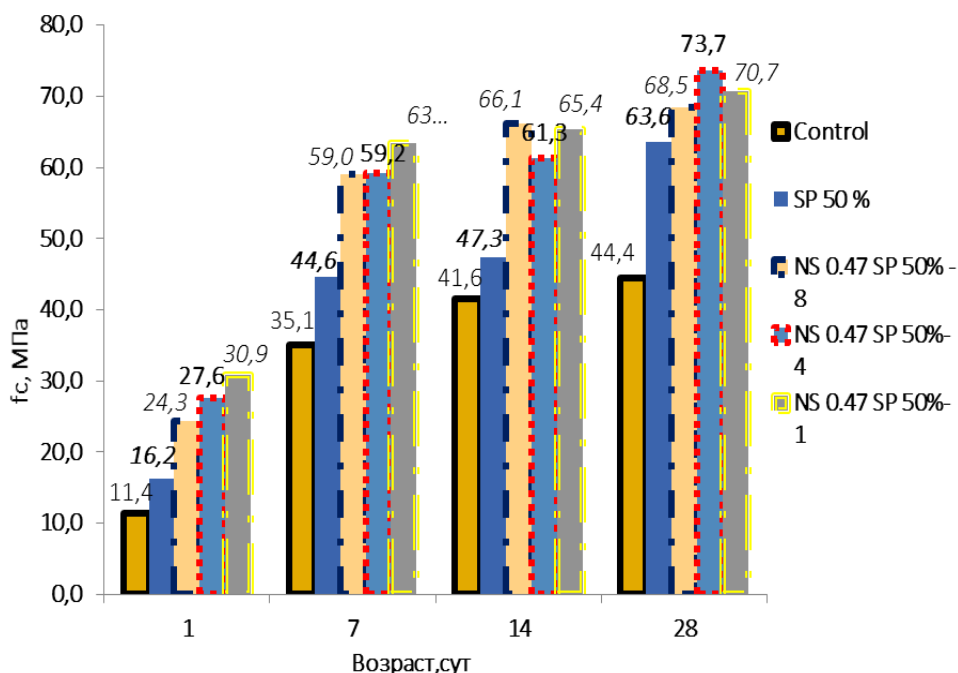
Испытания пластифицирующей добавки, включающей золь нанокремнезема в паре с суперпластификатором, были проведены при значениях В/Ц от 0.2 до 0.3 (рис. 2).

Добавка, содержащая золь нанокремнезема с концентрацией твердого SiO<sub>2</sub> равной 0.47 г/кг, вводимого в суперпластификатор в количествах 8, 4 и 1 г/т при определении прочности на сжатии показала лучший результат 73.7 МПа при вводе твердого SiO<sub>2</sub> 4г на 1т суперпластификатора.

При этом ввод золя нанокремнезема увеличил прочность бетона до 30% по сравнению с бетоном содержащего только суперпластификатор и до 40% по сравнению с контрольным образцом.

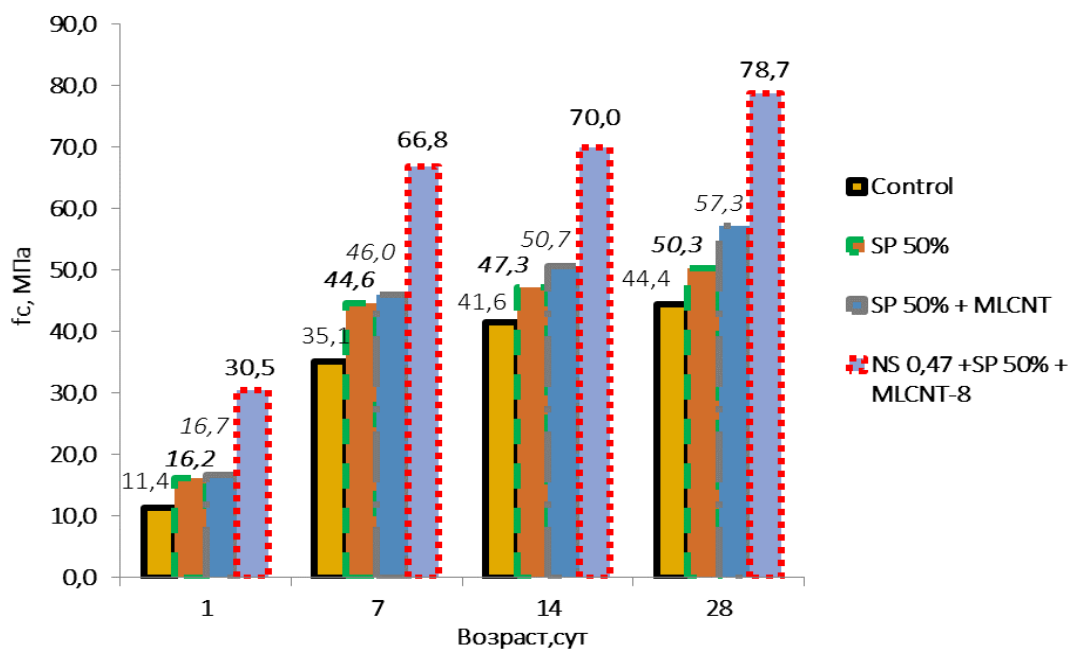
Влияние комплексной добавки, содержащей МУНТ, золь нанокремнезема и суперпластификатор на прочностные характеристики бетона представлены на рисунке 3.

Прочность на сжатие образцов тяжелого бетона, улучшенная комплексной нанодисперстной системой, составила 78.7 МПа, что превышает прочность образца, содержащего добавку МУНТ в паре с суперпластификатором на 27%.



Control – контрольный образец без добавки; SP– образец, содержащий добавку суперпластификатора; NS 0.47 SP -8,4,1 – образец, содержащий добавку золя нанокремнезема с концентрацией твердого SiO<sub>2</sub>, равной 0.47 г/кг, вводимого в суперпластификатор в количествах 8, 4 и 1 г/т соответственно

Рисунок 2. – Влияние действия золя нанокремнезема в сочетании с суперпластификатором на прочностные характеристики тяжелого бетона



Control – контрольный образец без добавки; SP – образец, содержащий добавку суперпластификатора; SP + MLCNT – образец, содержащий добавку суперпластификатора и МУНТ; NS 0.47 +SP + MLCNT – образец, содержащий комплексную добавку, состоящую из МУНТ, золя нанокремнезема и суперпластификатора

Рисунок 3. — Влияние комплексной добавки на прочностные характеристики тяжелого бетона

Можно предположить, что механизм действия представленной комплексной добавки, заключается в следующем: введение в цементную систему нанокремнезема приводит к плотности упаковки частиц системы, а при введении еще меньшего по размеру нанокремнезема создаются дополнительные центры кристаллизации гидратных новообразований. Следовательно, нанокремнезем выступает в качестве нанонаполнителя данной системы, который активнее влияет на концентрацию  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$  и уменьшает количество пор.

На основе анализа результатов испытаний можно сделать вывод, что комплексная нанодисперсная система, включающая многослойные углеродные нанотрубки, нанокремнезем и суперпластификатор, способствует сближению частиц, уплотнению структуры и формированию контактов срастания, что эффективно влияет на структуру тяжелого бетона. Таким образом данный эффект достигается путем направленной структурной модификации основных компонентов цементного камня - гидросиликатов кальция относительно композиции и морфологии новообразований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шабанова, Н.А Золь-гель технологии. Нанодисперсный кремнезем / Н. А. Шабанова, П. Д. Саркисов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 328 с.
2. Кондратенко, В.С. Адсорбционные свойства микропорошков  $\text{SiO}_2$ , полученных золь-гель методом/ В.С. Кондратенко, А.Н. Кобыш, Н.Э. Петрулянис, А.В. Сорокин, Е.В. Филимонова//Международная научно техническая конференция «Информационные технологии в науке, технике и образовании». – Египет, – 2006. – С. 46-48.
3. Shena, Y. Porous silica and carbon derived materials from rice husk pyrolysis char/ Y. Shena,
4. P. Zhao, Q. Shao// Microporous and Mesoporous Materials, 2014. – vol.188. – Pp 46–76.
5. Кускова, Н.И. Получение нанокремнезема методом электроразрядной обработки органических жидкостей/Н.И. Кускова, Л.З. Богуславский, А.А. Смалько, А.А. Зубенко. – ЭОМ, – 2007. №4. – С. 46-52.
6. Потапов, В.В. Физико-химические характеристики нанокремнезема (золь, нанопорошок) и микрокремнезема/ В.В.Потапов, Д.С. Горев Д.С.// Фундаментальные исследования. – 2018. – №. 6. – С. 23-29.
7. Жданок, С.А. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы/ С.А. Жданок, Б.М. Хрусталева, Э.И. Батяновский, С.Н. Леонович // Вестник БНТУ. – 2009. – № 3. – С. 5–22.
8. Жданок, С.А. Установка для получения углеродных наноматериалов/ С.А. Жданок, А.В. Крауклис, П.П. Самцов, В.М. Волжанкин // Патент 2839 РБ, МПК В82В 3/00 /; Оpubл. 30.06.2006.



УДК 691.12

## ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЫРЬЯ

*А.В. Должонок, А.А. Бакатович*

*Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь*

*e-mail: andrei92d@gmail.com*

*Проанализирована возможность использования, образующихся в больших объемах на территории Республики Беларусь отходов растениеводства, как потенциального сырьевого ресурса для получения заполнителя, применяемого в производстве стеновых материалов. В качестве заполнителей использовали дробленую и измельченную ржаную, гречишную, рапсовую солому и костру льна. Определены насыпная и истинная плотности растительных заполнителей. Установлено, что наименьший коэффициент теплопроводности равный  $0,049 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$  обеспечивает дробленая ржаная солома при насыпной плотности  $63 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Наилучший показатель коэффициента теплопроводности равный  $0,075 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$  зафиксирован на образцах костросоломенных блоков при плотности  $530 \text{ кг}/\text{м}^3$ . При этом показатели прочности на сжатие и при изгибе стеновых материалов с заполнителем из дробленой и измельченной гречишной соломы превышают характеристики образцов на основе других растительных заполнителей в 1,1–1,7 раза.*

**Ключевые слова:** *ржаная солома, рапсовая солома, гречишная солома, костра льна, стеновой блок, теплопроводность, прочность, плотность.*

## EVALUATION OF THE PERSPECTIVES OF PLANT AGGREGATES FOR WALL BLOCKS BASED ON PHYSICAL PARAMETERS OF RAW MATERIALS

*A. Dalzhonak, A. Bakatovich*

*Polotsk State University, Republic of Belarus*

*e-mail: andrei92d@gmail.com*

*The possible use of plant waste, being produced in large amounts on the territory of Belarus, as potential raw resources for obtaining the aggregate used in building material production was analyzed. Grinded and shredded rye, buckwheat and rape straw, flax boon were grinded and shredded and then were used as the aggregate. Bulk density and true specific gravity of plant aggregates were defined. It was defined, that grinded rye straw has the smallest coefficient of thermal conductivity equal to  $0.075 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , at a bulk density of  $63 \text{ kg}/\text{m}^3$ . The best coefficient of thermal conductivity was set on straw-flax blocks at a density of  $530 \text{ kg}/\text{m}^3$  and was equal to  $0.075 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Compressive and bending strength coefficients of materials based on grinded and shredded buckwheat straw exceed the properties of samples based on other aggregates 1.1-1.7 times.*

**Keywords:** *rye straw, buckwheat straw, rape straw, flax boon, wall block, thermal conductivity, strength, density.*

**Введение.** Рациональное использование отходов сельскохозяйственного производства в строительстве относится к актуальным вопросам отрасли, так как большинство растительных отходов не используется должным образом, а в основном сжигается или закапывается. Важным аспектом данного вопроса является применение научно обоснованного комплексного подхода к переработке растительных отходов для получения строительных материалов. С целью экономии средств требуется разработка и совершенствование технологических процессов при производстве строительных материалов на данном сырье. Как показывает практика научных исследований и промышленного производства применяя растительные отходы возможно получить композиционные стеновые материалы с использованием органических и неорганических вяжущих. Стеновые материалы на основе растительного сырья характеризуются малой теплопроводностью, низкой плотностью и относительно высокой прочностью, что подтверждается исследованиями [1].

**Основная часть.** На сегодняшний день растениеводство, включая выращивание ржи, льна, гречихи и рапса, занимает существенный сегмент в производстве агропромышленного комплекса Республики Беларусь. По данным статистического ежегодника [2] в 2018 году на территории Беларуси посевные площади ржи составили 254 тыс. гектар, льна-долгунца – 50 тыс. гектар, рапса – 350 тыс. гектар, гречихи – 19 тыс. гектар. На диаграмме (рисунок 1) приведено изменение количества засеваемых площадей сельскохозяйственными культурами за 2010-2018 годы.

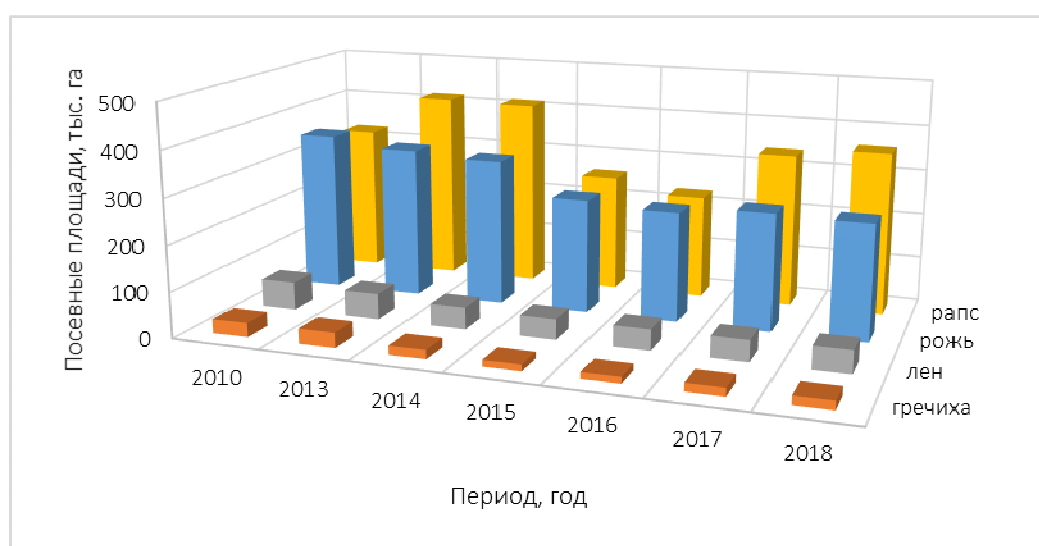


Рисунок 1. – Посевные площади сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь

Основная часть соломы используется для корма скоту, а также в качестве подстилочного слоя на животноводческих фермах. Использование соломы в виде корма, требует предварительной обработки для улучшения питательных качеств, что влечет за собой дополнительные затраты и становится нецелесообразным. Распространенной технологией утилизации ржаной соломы является измельчение и разбрасывание по полю с последующей запашкой для восстановления плодородия земель, что приводит

к засорению почвы сорняками [3]. Многие сельхозпредприятия страны периодически сжигают ржаную солому на полях (рисунок 2), за счет чего увеличивается выброс парниковых газов в атмосферу, ухудшающих экологическую обстановку.



Рисунок 2. – Сожженная солома на поле сельхозпредприятия

На территории Беларуси ежегодно выращивается около 140–150 тыс. т. льна. В Витебской области работает 10 льнозаводов, из 14 находящихся в Республике Беларусь, непосредственно занимающихся выращиванием и первичной переработкой льна [4].

При переработке льняной тресты образуются отходы в виде костры количеством до 32 тыс. т., являющихся источником пожарной опасности при хранении в отвалах на территории заводов. Льняная костра более чем на половину состоит из чистой целлюлозы и поэтому используется для отопления зданий. С целью улучшения тепловой отдачи при сжигании и облегчения транспортировки из костры льна получают топливные брикеты, производимые на 7 заводах в Республике Беларусь. Костробрикеты возможно использовать для обогрева теплиц, животноводческих ферм, жилых домов и промышленных зданий [5]. По причине высокого содержания марганца, калия, фосфора, кальция и других микроэлементов, костру льна используют в качестве удобрения для насыщения почвы питательными веществами.

Несмотря на то, что гречихой засеиваются значительно меньшие площади проблема утилизации соломы также существует. Непосредственное внесение в землю соломы, в качестве органического удобрения, приводит к тому, что азот в почве используется не для питания корневых систем растений, а для процессов разложения органических остатков гречихи. Также гречишная солома во многих хозяйствах остаётся на полях и сжигается, аналогично, как и ржаная солома. В 60-х годах XX века солому гречихи широко использовали в гидролизной промышленности для получения картона. По причине высокого содержания сырой клетчатки и отсутствия достаточного количества протеина использование гречишной соломы в кормовых целях возможно при добавлении полноценного белка и минеральных веществ, что требует дополнительных затрат. Также возможна переработка гречишной соломы на топливные брикеты. В результате прессования они приобретают плотность свыше  $1000 \text{ кг/м}^3$  и теплотворную способность до  $5000 \text{ кКал/кг}$  [6]. Данные показатели возможно сопоставить с показателями теплоотдачи каменного угля.

В последние годы на фоне прогресса в агротехнике и селекции наблюдается рост посевных площадей под рапс, улучшающий агрофизический и фитосанитарный состав почвы [7]. Рапсовую солому используют как топливо для хозяйственных нужд или поставляют на предприятия целлюлозно-бумажной промышленности. Следует отметить, что стебли рапса отличаются от ржаной соломы повышенной грубостью и жесткостью и не находят применения в качестве подстилочного слоя и корма на животноводческих фермах. Теплотворная способность рапсовой соломы находится в пределах 16–17 МДж/кг. Для сравнения теплотворная способность древесины в среднем составляет 17,5–19 МДж/кг [8].

Значительные объемы из утилизируемой части растениеводческих отходов идут на производство топливных брикетов, что обеспечивает дополнительные выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу. Наиболее рациональным способом применения данных отходов может являться производство конструкционных стеновых материалов с высокими теплоизоляционными характеристиками. Возведение зданий из стеновых блоков, содержащих наполнитель из растительного сырья обеспечит экологически чистую среду проживания для человека и снизит выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу.

В ниже приведенных исследованиях рассмотрена потенциальная возможность получения стеновых блоков с повышенными теплоизоляционными свойствами на растительных заполнителях. На начальном этапе определены насыпная плотность, влажность и коэффициент теплопроводности отходов растениеводства. Предварительно солому дробили для получения заполнителя с длиной трубки 20–40 мм. Размеры частиц костры и измельченной гречихи изменяются по длине от 1 мм до 10 мм и по толщине от 0,3 мм до 1,5 мм. Насыпную плотность определяли путем вычисления отношения массы свободно засыпанного материала к объему заполняемой емкости. Теплопроводность заполнителей определяли с помощью прибора ИТП-МГ4. Растительные заполнители исследовали в условиях равновесной влажности материала и в абсолютно сухом состоянии. Равновесную влажность заполнителей определяли после нахождения материала в лаборатории с относительной влажностью воздуха 60±5% и температурой воздуха 20±2°C. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Показатели насыпной плотности и коэффициента теплопроводности заполнителей

№ образца	Заполнитель	Влажность заполнителя, %	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Дробленая гречишная солома	0	75	0,055
2		7	80	0,061
3	Дробленая ржаная солома	0	63	0,049
4		8	68	0,053
5	Костра льна	0	140	0,054
6		6	148	0,067
7	Измельченная гречиха	0	88	0,051
8		6	93	0,056
9	Дробленая рапсовая солома	0	70	0,064
10		9	76	0,07

Среди исследуемых материалов ржаная солома в абсолютно сухом состоянии обладает меньшей теплопроводностью – 0,049 Вт/(м·°С) и на 11–23% ниже показателей рапсовой и гречишной соломы. Дробленая ржаная солома имеет насыпную плотность 63кг/м<sup>3</sup>, что на 36–66% меньше значений остальных исследуемых образцов растительных заполнителей. В состоянии равновесной влажности коэффициент теплопроводности дробленой соломы ржи ниже на 5–24% относительно значений соломы гречихи, рапса и костры льна.

Также в ходе работы определена истинная плотность соломы и костры льна. Для определения истинной плотности получали образцы в максимально плотном состоянии. Материал перемалывали до фракции 1–3 мм с помощью измельчителя ЭЛИКОР-1 № 5 (рисунок 3) и высушивали до постоянной массы. Затем формовали образцы в виде плит размерами 250×250×30 мм на основе молотого сырья, для чего материал укладывали в формы и уплотняли с помощью пресса под давлением 23 МПа с фиксированием верхней крышки формы. Через 24 часа образцы извлекали из формы (рисунок 4), измеряли и взвешивали. Значение истинной плотности вычисляли, как отношение массы к объему полученного образца. Коэффициент теплопроводности определяли с использованием прибора ИТП-МГ4. Полученные данные приведены в таблице 2.



Рисунок 3. – Измельчитель ЭЛИКОР-1 № 5

Таблица 2. – Показатели истинной плотности и коэффициента теплопроводности молотого растительного сырья

№ образца	Молотое сырье	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Гречишная солома	1060	0,115
2	Ржаная солома	1015	0,106
3	Костра льна	1030	0,11
4	Рапсовая солома	1065	0,122

По результатам проведенных исследований установлено, что коэффициент теплопроводности образца 2 из ржаной соломы составляет 0,106 Вт/(м·°С) при истинной плотности равной 1015 кг/м<sup>3</sup>, что на 5 % ниже показателя образца 4 из рапсовой соломы.



Рисунок 4. – Образец из молотой ржаной соломы для определения истинной плотности

Приведенные выше результаты исследования показали, что при увеличении истинной плотности заполнителей на основе растительного сырья относительно значений насыпной плотности в 7–16 раз коэффициент теплопроводности увеличился только в 2 раза. Выявленная особенность указывает на высокие теплоизоляционные свойства заполнителей из дробленой и измельченной соломы, а также костры льна и позволяет прогнозировать возможность получения стенового материала с высокими теплоизоляционными характеристиками независимо от состояния микроструктуры заполнителей.

После определения основных общезначимых характеристик заполнителей из соломы и костры, исследовали физико-механические характеристики стеновых материалов на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства. Дробленую ржаную, гречишную и рапсовую солому вводили как крупный заполнитель, а костру льна и измельченную солому гречихи – в качестве мелкого заполнителя. Количество дробленой соломы в общем расходе заполнителя составляло 0,55 массовых долей. Использовали дробленую солому с длиной трубок 20–40 мм. Максимальная фракция костры льна составляла не более 15 мм. Длина частиц измельченной соломы гречихи находилась в пределах 5–10 мм. Вяжущим компонентом являлся портландцемент ПЦ 500 – Д0. В качестве добавки, нейтрализующей действие сахаров, вводили гидратную известь. Плотность для всех образцов составляла  $530 \text{ кг/м}^3$ , а давление формования – 1,8–1,9 МПа. Основные физико-механические характеристики стеновых материалов приведены в таблице 3.

По результатам исследований установлено, что при одинаковой плотности с заменой части рапсовой соломы кострой льна происходит повышение прочности на сжатие и прочности на изгиб на 13–17% в сравнении со стеновым материалом на основе дробленой рапсовой соломы (состав 1). Для состава 4 относительно показателей состава 3 прочность на сжатие возросла на 19%, а прочность при изгибе – на 12%. Прочность на сжатие и прочность на изгиб образцов, содержащих костросоломенную смесь, увеличилась на 16% и 13% в сравнении со стеновыми материалами на основе дробленой ржаной соломы (состав 5).

Таблица 3. – Основные физико-механические характеристики стеновых материалов на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства

№ состава	Заполнитель	Физико-механические характеристики		
		Прочность на сжатие, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Дробленая рапсовая солома	1,5	1,2	0,112
2	Дробленая рапсовая солома и костра льна	1,7	1,4	0,106
3	Дробленая гречишная солома	2,1	1,7	0,1
4	Гречишная смесь (дробленая и измельченная гречишная солома)	2,5	1,9	0,092
5	Дробленая ржаная солома	1,9	1,6	0,085
6	Костросоломенная смесь (дробленая ржаная солома и костра льна)	2,2	1,8	0,075

Коэффициент теплопроводности композита на основе рапсовой соломы и костры льна составил 0,106 Вт/(м·°С), что на 0,006 Вт/(м·°С) ниже в сравнении со стеновыми материалами из дробленой рапсовой соломы (состав 1). Показатель теплопроводности состава 4 с применением гречишной смеси ниже на 8%, в сравнении с материалом из дробленой гречишной соломы. Коэффициент теплопроводности образцов, содержащих дробленую ржаную солому (состав 5), равен 0,085 Вт/(м·°С), что на 13% выше показателя стеновых материалов на основе костросоломенной смеси (состав 6).

В ходе анализа полученных результатов установлено, что стеновой материал из гречишной смеси на цементном вяжущем с добавлением извести (состав 4) имеет максимальные показатели по прочности на сжатие равный 2,5 МПа и прочности при изгибе соответствующей 1,9 МПа. Стеновой материал на основе костросоломенной смеси обеспечивает наиболее низкий коэффициент теплопроводности равный 0,075 Вт/(м·°С).

Эффект от введения мелкого заполнителя в виде костры льна и измельченной гречи обусловлен формированием из крупного и мелкого заполнителя двух взаимопроницающих структурных систем образующих прочную структуру «каркас в каркасе». Костра льна и измельченная гречиха заполняет пустотное пространство, образуемое в каркасе из дробленой соломы и формирует второй каркас, препятствующий перемещению воздушных потоков в пустотах композита и тем самым уменьшает теплопроводность материала.

Также при применении только дробленого заполнителя при формировании происходит смятие всех трубок, а при введении мелкого заполнителя часть трубок диаметром менее 3 мм остается целой, что позволяет формировать более прочный каркас из заполнителя. Кроме того, мелкий заполнитель обеспечивает более высокую адгезию с цементным камнем за счет рельефной и шероховатой поверхности костры льна и измельченной соломы. Также можно предположить, что на прочность и теплопроводность блоков оказывает влияние микроструктура заполнителей. Все выше перечисленные

факторы, обеспечивают повышение прочности на сжатие и коэффициент теплопроводности составов 4, 6, содержащих смеси из мелкого и крупного заполнителей.

**Заключение.** При истинной плотности соломы и костры льна равной 1015–1065 кг/м<sup>3</sup> показатели теплопроводности имеют низкие значения в пределах 0,106–0,122 Вт/(м·°С), что подтверждает высокую теплоизолирующую способность растительного сырья.

Среди исследуемых растительных заполнителей наименьшей теплопроводностью равной 0,049 Вт/(м·°С) обладает дробленая ржаная солома при насыпной плотности 63 кг/м<sup>3</sup>. Для костры льна, с максимальной насыпной плотностью 140 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности достигает 0,054 Вт/(м·°С).

Совместное использование мелкого и крупного заполнителей в виде смеси обеспечивает наилучшие физико-механические показатели стеновых материалов. Стеновые блоки на основе костросоломенной смеси при прочности на сжатие 2,2 МПа, имеют коэффициент теплопроводности равный 0,075 Вт/(м·°С), что меньше показателей составов 1–5 (таблица 3) на 12–33%. Композиционный стеновой материал на заполнителе из смеси дробленой и измельченной соломы гречихи обладает прочностью на сжатие 2,5 МПа, что на 14–67% выше в сравнении с показателями, приведенными в таблице 3 для стеновых блоков на заполнителях из растительных отходов сельскохозяйственного производства. При этом коэффициент теплопроводности блоков, содержащих гречишную смесь, составляет 0,092 Вт/(м·°С).

Полученные физико-механические характеристики растительных заполнителей, а также композиционных материалов на их основе подтвердили возможность получения эффективных стеновых блоков. Однако существует необходимость дальнейшего комплексного исследования физико-механических характеристик, в том числе и в условиях эксплуатации стеновых материалов, с целью оценки перспективности развития производства стеновых блоков на данных заполнителях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Солдатов, С.Н. Создание и исследование свойств утеплителей на основе местного сырья : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / С.Н. Солдатов. – Пенза, 2001. – 67 с.
2. Статистический ежегодник 2018. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018 – 490 с.
3. Савицкий Н.В., Собинова К.С., Зинкевич О.Г., Ожищенко О.А., Аит Ишу Ф. Исследование теплофизических свойств вторичных продуктов сельскохозяйственного производства органического происхождения / Н.В. Савицкий, К.С. Собинова, О.Г. Зинкевич, О.А. Ожищенко, Ф. Аит Ишу // Сборник научных трудов строительства, материаловедения, машиностроения. 2015. № 81. 217-223 с.
4. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс] / М. : Льноперерабатывающие предприятия Республики Беларусь. – 2019. – Режим доступа : <https://mshp.gov.by/links/podvedorgan/flax/>. – Дата доступа : 15.11.2019 г.
5. Карпунин, И.И. Использование отходов растительного сырья для производства энергии/ И.И. Карпунин, В.В. Кузьмич, Т.Ф. Балабанова. – Минск: БНТУ, 2011. – с. 72-75.
6. Гнеушева, И. А. Биотехнологическая переработка отходов производства гречихи и получение ценных продуктов: дис. ...канд. техн. наук : 03.01.06 / И. А. Гнеушева. –Воронеж, 2014. – 142 с.



7. Журавлев, А.В. Системное проектирование ресурсосберегающей машинной технологии переработки семян рапса [Текст] / А.В. Журавлев, А.С. Марухин // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. - № 1(9). – С. 58-65.
8. Оганезов И. А. Использование вторичной продукции растениеводства в качестве биотоплива / И. А. Оганезов, В. В. Ширшова // Энергосбережение - важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы междунар. научно-технической конференции, Минск, 23-24 октября 2009 г. В 2 ч. Ч. 1. - Минск: БГАТУ, 2009. - С. 104-109.

УДК 664

## К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИБРЫ В БЕТОНАХ

**Д.И. Сафончик**

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь  
e-mail: d.Safonchik@mail.ru

*В статье рассмотрено влияние разных видов фибр на плотность и прочность фибробетонов. В качестве фибр использованы те, которые наиболее доступны в гродненском регионе. Среди них есть как высокомодульные материалы, так и среднемодульные и низкомодульные. Кроме того, некоторые из выбранных фибр относятся к отходам производств. По результатам работы определены оптимальные значения количества каждой фибры исходя из исследуемых параметров.*

**Ключевые слова:** бетон, фибробетон, фибра, плотность, прочность на изгиб, прочность на сжатие.

## TO THE QUESTION OF USE OF VARIOUS TYPES OF FIBER IN CONCRETE

**D. Safonchik**

Yanka Kupala State University in Grodno, Republic of Belarus  
e-mail: d.Safonchik@mail.ru

*The article considers the influence of different types of fibers on the density and strength of fibro-concrete. As the fibers used are those that are most available in the Grodno region. Among them there are both high-modulus materials, as well as medium-modular and low-modular materials. In addition, some of the selected fibers are waste products. According to the results of the work, the optimal values of the amount of each fiber are determined based on the parameters studied.*

**Keywords:** concrete, fiber-reinforced concrete, fiber, density, bending strength, compressive strength.

Строительная отрасль, как в Республике Беларусь, так и в других странах мира, активно и динамично развивается. В большинстве случаев это обусловлено появлением новых эффективных материалов. Однако, несмотря на это, основным конструкционным материалом по-прежнему является бетон. Это объясняется тем, что он обладает рядом достоинств, которые ещё долгое время позволят ему оставаться на лидирующих позициях. На ряду с традиционным бетоном начинают активно использовать и относительно новый материал – фибробетон, который обладает рядом преимуществ по сравнению с обычным бетоном, но не находит широкого применения в Республике Беларусь. Часто это вызвано тем, что многие исследователи приводят весьма противоречивые сведения о влиянии разных фиброматериалов на характеристики бетонов.

Целью исследований, описанных в данной статье, является сравнение фибробетонов, полученных с применением разных видов фибр. Оценка влияния фибр производилась по двум параметрам: средняя плотность и средняя прочность (на изгиб и сжатие).

В качестве фибры выбраны девять видов материалов, доступных в Гродненском регионе (табл. 1).

Таблица 1. – Общий вид фиброматериалов



Стекловолоконная фибра



Волокно строительное микроармирующее (BSM)



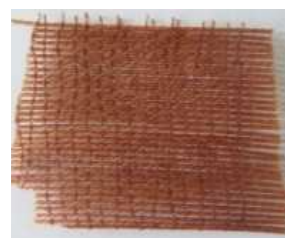
Полипропиленовая фибра



Базальтовая фибра



Полиэфирные волокна



Обрезки ткани кордной полиэфирной пропитанной



Нить капроновая крученая



Фибра стальная



Нить полиамидная текстурированная

При проектировании составов фибробетонов очень важно запроектировать их таким образом, чтобы фибробетон получался не только прочным в начальные сроки твердения, но и долговечным.

Фибробетон с одной стороны должен быть не очень тяжелым, а с другой – материал не должен быть очень пористым. То есть получается, что два указанных требования приходят в противоречие и необходимо искать некую середину между весом материала и его пористостью.

Разные фиброматериалы имеют разный вес и могут оказывать существенное влияние на объемный вес изделий. Кроме того, целый ряд фиброматериалов имеет очень плохое сцепление с цементным вяжущим, то есть между фиброй и цементом остается пустота, а значит нет совметной работы комплексного материала.

Из всех видов выбранных фибр наибольшее значение модуля упругости характерно для стальной фибры (19000 МПа). Достаточно высокие значения модуля упругости

имеют базальтовая и стеклянная фибра (для базальтовой фибры – не менее 9000 МПа, для стеклянной – не менее 7500 МПа). Остальные виды фибр имеют низкие значения модуля упругости.

Исходя из значения модуля упругости можно говорить о том, что для микроармирования целесообразно использовать стальную, базальтовую и стеклянную фибры. Каждая из этих фибр позволяет улучшать отдельные свойства фибробетона, но при этом есть и отрицательные стороны применения этих фибр.

Стальная фибра значительно утяжеляет материал, кроме того и требует выполнения мероприятий по защите стали от возможной коррозии. Применение стальной фибры невозможно в случаях необходимости создания безискровых конструкций.

Базальтовая фибра повышает трещиностойкость бетона, прочность на раскалывание, ударную прочность, в изделиях имеет высокую адгезию с цементным камнем. Цементный камень и базальтовая фибра имеют один коэффициент температурного расширения, в отличие от фибры металлической. Основным недостатком базальтовой фибры является ее высокая стоимость.

Стеклянная фибра может оказывать положительное влияние на прочность к воздействию растягивающих и сжимающих нагрузок, устойчивость к изгибу, имеет относительно небольшой вес, стойка к воздействию отрицательных температур, но не стойка к воздействию щелочей. Для повышения стойкости стеклянной фибры к воздействию щелочей необходимо использовать дорогостоящее щелочестойкое стекло.

Остальные материалы, примененные в работе, хоть и не так эффективны, как сталь, базальт и стекло, но также могут быть применены в качестве фибры.

Основные достоинства низко модульных фибр как правило в их невысокой стоимости. При этом, низко модульные фибры позволяют снижать величину поверхностных натяжений цементных материалов. Не позволяют образовываться или увеличиваться усадочным трещинам и на 10-15 процентов могут повысить прочность на изгиб фиброармированных материалов.

Для того, чтобы установить влияние каждого выбранного вида фибры на среднюю плотность фиброцементных систем приготавливались цементно-песчаные смеси с добавлением фибр в разном количестве. Затем из этих смесей формовались образцы размерами 40×40×160 мм. Образцы твердели в пропарочной камере. Далее высушивались. Измерялись линейные размеры и масса каждого образца и рассчитывалась средняя плотность балок. Для каждого состава изготавливали не менее трех образцов.

Результаты измерения плотности представлены в таблице 2.

Как видно, введение фибры в состав фибробетона приводит к изменению средней плотности образцов. Однако, изменение плотности не находится в прямой зависимости между от веса фибры. Введение фибры оказывает значительное влияние прежде всего на формуемость смеси в которой присутствует фибра. Зачастую увеличение расхода фибры приводит к ухудшению перемешиваемости смеси. В большей степени это характерно для нежестких материалов, таких как искусственные нити и волокна. Жесткая фибра (стальная) легко распределяется при перемешиванию смеси, не комкуется и при ее увеличении вызывает увеличение и массы смеси.

Таблица 2. – Результаты исследования влияния фибр на среднюю плотность образцов

№ п/п	Наименование фибры	Значение средней плотности в зависимости от расхода фибры, кг/м <sup>3</sup>					
		1%		2%		5%	
1	полипропиленовая	2199	2210	2363	2344	2278	2273
		2216		2314		2261	
		2215		2354		2281	
2	базальтовая	2315	2310	2275	2238	2278	2273
		2301		2218		2261	
		2314		2221		2281	
3	стеклянная	2178	2168	2268	2253	2214	2231
		2169		2287		2237	
		2157		2203		2242	
4	ВСМ	2160	2166	2218	2233	2135	2132
		2145		2244		2123	
		2192		2237		2139	
5	полиэфирные волокна	2237	2248	2191	2192	2195	2174
		2281		2186		2159	
		2225		2199		2169	
6	обрезки ткани кордной полиэфирной пропитанной	2285	2263	2276	2305	2201	2225
		2289		2310		2230	
		2215		2329		2243	
7	нить капроновая крученая	2199	2202	2215	2224	2116	2119
		2197		2241		2120	
		2210		2217		2120	
8	стальная	2197	2188	2269	2261	2301	2294
		2196		2255		2298	
		2171		2258		2282	
9	нить полиамидная текстурированная	2157	2161	2175	2173	2192	2189
		2179		2164		2164	
		2146		2180		2212	

Выполненный эксперимент позволяет в зависимости от способности смеси перемешиваться совместно с разными видами фибры и в зависимости от изменения плотности при увеличении расхода фибры прогнозировать изменение прочностных показателей образцов.

На следующем этапе работы выполнялась оценка влияния девяти видов фибр на прочностные показатели изготовленных образцов. Полученные результаты испытаний представлены в таблице 3. Среднее значение прочности на изгиб определено по 6 испытаниям. Среднее значение прочности на сжатие определено по трем испытаниям.

Применение полипропиленовой фибры при увеличении ее количества до 5% от массы цемента позволяет увеличить прочность на изгиб образцов. Увеличение количества фибры до 2 процентов приводит к увеличению на 24,5 % прочности на изгиб относительно образца, в котором расход полипропилена составлял 1%. Увеличение расхода фибры до 5 % позволило еще повысить прочность на изгиб. Её прирост составил 29,5 %. Что касается изменения прочности на сжатие образцов, модифицированных этим видом

фибры, то при расходе полипропилена 2% прочность повысилась на 8,9%; при расходе 5% - прочность упала на 8,3%. При расходе в 5% полипропиленовая фибра привела и к падению величины средней плотности цементных образцов, то есть повышенный расход фибры ухудшил перемешиваемость смеси и в дальнейшем привел к снижению прочности из-за плохой укладки компонентов смеси в форме. Следовательно наилучшего положительного эффекта по улучшению прочностных показателей можно достичь при введении полипропиленовой фибры в количестве не более 2% от массы цемента.

Таблица 3. – Результаты исследования влияния фибр на среднюю прочность на изгиб образцов

№ п/п	Наименование фибры	Значение средних прочностей на сжатие в зависимости от расхода фибры, МПа			Значение средних прочностей на сжатие в зависимости от расхода фибры, МПа		
		1%	2%	5%	1%	2%	5%
1	полипропиленовая	5,94	7,40	7,69	37,24	40,56	34,16
2	базальтовая	7,33	6,94	6,67	44,12	37,20	36,06
3	стеклянная	7,55	7,18	7,70	48,72	42,8	42,26
4	ВСМ	6,77	6,65	5,18	44,63	38,60	26,90
5	полиэфирные волокна	7,76	8,12	7,76	34,66	32,05	28,60
6	обрезки ткани кордной полиэфирной пропитанной	6,70	7,41	7,16	27,50	27,66	27,86
7	нить капроновая крученая	6,12	6,34	5,46	27,20	27,06	24,46
8	стальная	7,78	8,78	9,42	38,06	42,60	43,46
9	нить полиамидная текстурированная	7,66	5,65	6,44	33,80	34,93	33,33

Использование базальтовой фибры при ее расходе до 1% позволило получить более высокие прочностные показатели по сравнению с аналогичными образцами, изготовленными с помощью полипропиленовой фибры. Повышение расхода базальтовой фибры до 2% и 5% привело к падению прочности как на изгиб, так и на сжатие. Увеличение расхода базальтовой фибры приводит и к падению средней плотности образцов. Следовательно, оптимальным расходом базальтовой фибры можно считать ее количество не более 1% от массы цемента.

Стеклянная фибра улучшает прочностные показатели, если ее расход не превышает 1% от массы цемента. При таком расходе прочность на изгиб может достигать величины 7,55 Мпа, а прочность на сжатие – 48,72 Мпа. Эти показатели сопоставимы с аналогичными показателями прочности образцов, модифицированных базальтовой фиброй и значительно выше в сравнении с полипропиленовой фиброй. Увеличение расхода стеклянной фибры приводит к получению неоднозначных результатов. При расходе стеклянной фибры 2% прочность на изгиб падает до величины в 7,18 МПа, а прочность на сжатие до 42,8 МПа. Однако увеличение расхода фибры до 5% не привело

к дальнейшему падению прочности на изгиб, а даже наоборот этот параметр несколько повысился и составил 7,7 МПа. Прочность на сжатие и при расходе фибры в 5 % понизилась и составила 42,3 Мпа. Экспериментальные данные позволяют говорить о том, что при использовании стеклянной фибры необходимо тщательно контролировать расход фибры при приготовлении смесей. Оптимальным значением расхода стеклянной фибры можно считать величину в 1 % от массы цемента.

ВСМ фибра показала способность к улучшению прочностных показателей образцов при ее расходе не более 1 %. Увеличение расхода свыше одного процента не целесообразно, так как ухудшаются и технологические свойства смеси и прочностные показатели образцов.

Полиэфирные волокна при использовании их для модификации цементно-песчаных растворов позволяют повышать прочность образцов на изгиб при введении их в количестве до 2 %. При этом прочность на сжатие уменьшается, но незначительно. Дальнейшее увеличение расхода полиэфирной фибры приводит к падению прочности и на изгиб, и на сжатие. При назначении оптимального расхода этого вида фибры необходимо руководствоваться теми из параметров, которые в конкретном случае будут наиболее важны. Если на первом месте будет стоять прочность на изгиб, то оптимальное количество полиэфирной фибры 2 % от массы цемента. Если наиболее важна будет прочность на сжатие, то рекомендуемое количество не должно превышать 1,5 % от массы цемента.

Применение обрезков ткани кордной полиэфирной пропитанной в качестве фибры позволяет улучшать прочность и на сжатие, и на изгиб при ее расходе до 2 %. Увеличение показателей незначительно, поэтому если рассматривать оптимальное количество фибры с экономической точки зрения, то увеличение расхода свыше 1 % нецелесообразно. Следует отметить и тот факт, что повышение расхода фибры до 5 % не приводит к значительным изменениям прочности.

Использование нити капроновой крученной показало самые низкие значения прочности по сравнению со всеми видами исследуемых фибр. Оптимальным расходом этого вида фибры можно считать 1 % от массы цемента.

Стальная фибра позволяет улучшать прочностные показатели образцов при любом ее расходе. То есть увеличение расхода стальной фибры приводит к увеличению прочности и на сжатие, и на изгиб. То есть для этого вида фибры оптимальное значение ее расхода должно определяться не по техническим показателям, а по экономическим.

Нить полиамидная по своему эффекту влияния на прочность цементно-песчаных образцов не отличается от того, как влияют остальные низкомолекулярные волокна. Максимальный эффект при использовании этой фибры может быть достигнут при ее расходе до 1% от массы цемента. Увеличение расхода фибры свыше 1 % приводит к падению прочности и на изгиб, и на сжатие.

По полученным данным и с учетом оптимальных прочностных показателей построена таблица 4.

Выполненная работа позволила наглядно показать важность правильного проектирования составов фибробетонов.

Таблица 4. – Результаты исследования влияния фибр на среднюю прочность на сжатие образцов

№ п/п	Наименование фибры	Оптимальное количество фибры, %	Rсж, Мпа	Rизг, Мпа
1	полипропиленовая	2	7,40	40,56
2	базальтовая	1	7,33	44,12
3	стеклянная	1	7,55	48,72
4	ВСМ	1	6,77	44,63
5	полиэфирные волокна	1,5	6,94	33,36
6	обрезки ткани кордной полиэфирной пропитанной	1	6,70	27,50
7	нить капроновая крученая	1	6,12	27,20
8	стальная	5	9,42	43,46
9	нить полиамидная текстурированная	1	7,66	33,80

Варьирование только видом фибры позволило оказать существенное влияние как на плотность проектируемых материалов, так и на их прочность. Эмпирически доказано, что прочность на изгиб может варьироваться при использовании исследуемых видов фибр в пределах 30,5 %. Прочность на сжатие может изменяться в еще больших пределах (79,1%).

По результатам выполненной работы нельзя говорить об оптимальных видах фибры, которая подходила бы для любых условий эксплуатации. Для окончательного вывода о целесообразности того или иного вида фибры требуется выполнение более глубокого анализа исследуемых материалов.



УДК 691.335

## ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО СЕРСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА

*Т.В. Булай<sup>1</sup>, М.И. Кузьменков<sup>2</sup>, Н.М. Шалухо<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск

e-mail: TRoman@grsu.by, kuzmenkov@belstu.by, shalukho@belstu.by

*Рассмотрен вопрос утилизации отходов камнеобработки в Республике Беларусь и применение гранитных отсеков в качестве заполнителей для создания композиционных материалов, изготовленных на основе серы. Приведены экспериментальные данные по исследованию физико-механических свойств серного бетона, таких как прочность и водопоглощение, в зависимости от количества серы, песка и гранитных отсеков, образующихся на РУПП «Гранит». Сделаны выводы о влиянии гранитных отсеков на свойства серного бетона.*

**Ключевые слова:** композиционный материал, серный бетон, наполнитель, прочность, водопоглощение.

## INFLUENCE OF FILLERS ON THE PROPERTIES OF THE COMPOSITE SULFUR-CONTAINING MATERIAL

*T. Bulai<sup>1</sup>, M. Kuzmenkov<sup>2</sup>, N. Shalukho<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>The Grodno state university of a name Yanka Kupala, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarus state technological university, Minsk

e-mail: TRoman@grsu.by, kuzmenkov@belstu.by, shalukho@belstu.by

*The issue of utilization of stone processing wastes in the Republic of Belarus and the use of granite screenings as aggregates for the creation of sulfur-based composite materials are considered. Experimental data on the physical and mechanical properties of sulfur concrete, such as strength and water absorption, are given, depending on the amount of sulfur, sand and granite screenings formed at the Granit RUPP. Conclusions are drawn about the effect of granite screenings on the properties of sulfur concrete.*

**Keywords:** composite material, sulfuric concrete, filler, strength, water absorption.

Промышленность строительных материалов на сегодняшний день является наиболее развитой и перспективной отраслью по переработке отходов производства и использованию вторичного сырья, по разработке и созданию новых видов строительных материалов с улучшенными свойствами. Проблемы утилизации отходов в Республике Беларусь по-прежнему остаются актуальными. Объемы образующихся отходов растут, что влечет за собой увеличение затрат на их утилизацию, хранение и транспортирование. Одним из предприятий, на котором до сих пор не решена проблема рационального

использования отходов, является РУПП «Гранит», на котором при изготовлении щебня образуется побочный продукт – гранитные отсевы, которые можно применять в качестве заполнителей для композиционных материалов.

Одним из перспективных композиционных материалов является строительный материал на основе серы, которая выступает в качестве вяжущего компонента. При различных сочетаниях серы и разнообразных заполнителей можно получить композиции нового строительного материала по свойствам не уступающего, а часто и превосходящего традиционные.

Наиболее рациональными областями применения серного бетона являются:

- коррозионностойкие элементы промышленных и сельскохозяйственных зданий: коллекторные кольца, лотки, кирпич, плитка, блоки, силосы на фермах, сгустители;
- элементы дорог: покрытия дорог, бордюрный камень, плитка тротуарная и др.;
- трубы: дренажные, канализационные и др.;
- стеновые материалы: кирпич, плитка, блоки и др.;
- элементы нулевого цикла: сваи, фундаментные блоки и др.;
- площадки для выгула скота;
- декоративные элементы;
- монолитные коррозионностойкие полы;
- кровельные материалы: черепица, навесы и др. [1].

Требования, предъявляемые к сере при изготовлении серных бетонов, связаны в основном с экологической безопасностью. Чистая сера не является экологически опасным продуктом, но при взаимодействии с окружающей средой, она может образовывать вредные химические соединения или выделять в окружающую среду растворенные в ней газы, прежде всего сероводород. Поэтому для обеспечения экологической безопасности достаточным является строгое соблюдение технологического режима производства, а именно исключение возможного значительного перегрева серобетонной смеси [2,3].

Кроме серы в состав серного бетона входят заполнители, наполнители и модификаторы для сохранения свойств материала в течение длительного времени.

С целью оптимизации составов композиционного серосодержащего материала осуществлялось варьирование составом смеси: сера + наполнители и оценивались основные физико-механические свойства, такие как прочность и водопоглощение.

В качестве вяжущего компонента для изготовления серного бетона использовалась сера, в качестве наполнителей песок и отходы камнеобработки – гранитные отсевы, которые образуются на РУПП "Гранит" (г. Микашевичи, Брестская обл.) в процессе добычи и обработки гранитного щебня [4,5,6].

Изготовление экспериментальных образцов из серного бетона включало приготовление шихты, состоящей из серы, заполнителей и наполнителей, предварительно перемешанных и нагретых до температуры 140-150 °С. В результате получается однородная смесь, которая в горячем легкоподвижном состоянии заливается в формы и уплотняется. После остывания смеси образцы извлекаются из форм.

Исследования свойств серного бетона проводились в несколько этапов. Первоначально испытания прочности и водопоглощения проводились на образцах, изготовленных из серы и отсева гранитного щебня различных фракций. Результаты показали, что прочность колеблется в пределах от 5,40 до 14,67 МПа, что гораздо ниже значений прочности образцов, изготовленных ранее из серы и песка, принятых за эталонные. Предел прочности данных образцов составил от 45,3 до 53 МПа.

В НИИЖБЕ были проведены исследования свойств композиций на основе термопластичного серного вяжущего и разработана технология производства материала. Приготовление серобетонной смеси, состоящей из термопластичного серного вяжущего (20-40%) и заполнителей (60-80 %) и формовка изделий производилась в горячем состоянии при температуре 130-150 °С. Затем следовало уплотнение смеси. Твердение смесей на основе серы является физическим процессом и происходило в результате остывания и образования прочной и плотной монолитной структуры. Были исследованы составы из термопластичного серного вяжущего, приготовленного с использованием технической серы, на прочность. Предел прочности контрольных составов на технической сере составил  $61 \pm 5,6$  МПа. В итоге, эксперимент показал, что значения пределов прочности образцов на основе серы, полученные в НИИЖБЕ и в наших исследованиях практически одинаковы [7].

На втором этапе состав сера + гранитные отсева был дополнен введением песка в различных процентных соотношениях по отношению к исходным компонентам. В результате наблюдали увеличение прочности образцов до 26,6 МПа.

Далее проводилось исследование водопоглощения образцов, изготовленных из серы и гранитных отсевов и из серы, гранитных отсевов и песка в возрасте 90 суток. Результаты показали, что водопоглощение колеблется в диапазоне соответственно от 0,1 до 0,86 % и от 0,22 до 1,3 %, что гораздо ниже, чем у традиционных бетонов на портландцементном вяжущем, составляющем 4,7-5,7 % [8,9].

Так как основной целью исследований на данном этапе являлось изучение влияния различных наполнителей на свойства серных бетонов, то можно сделать вывод о том, что наличие в составе композиционного материала, изготовленного на основе серы, гранитных отсевов приводит к уменьшению прочности материала в три и более раза в сравнении с эталонными образцами, изготовленными с использованием серы и песка.

Однако, исследования водопоглощения образцов показали отличный результат и подтвердили, что сера обладает гомогенной структурой и обеспечивает плотное расположение молекул относительно друг друга, а присутствие наполнителя приводит к тому, что молекулы серы сцепляют молекулы наполнителя и тем самым плотно заполняют внутреннее пространство вещества и сводят пористость материала к нулю.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волгушев, А.Н. Применение серы в строительстве / А.Н. Волгушев // Новые химические технологии. Аналитический портал химической промышленности Newchemistry.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=4348](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=4348). – Дата доступа: 03.11.2019.

2. Айдосов, А.А. Анализ производства серных бетонов и использование серы в дорожном строительстве / А.А. Айдосов, Г.А. Айдосов, Н.Г. Айдосов // Вестник КазНТУ. – 2011. – № 4(86). – С. 39-44.
3. Попова, И.А. Бетоны с повышенными физико-техническими свойствами на основе серосодержащих вторичных отходов: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.05 / И.А. Попова. – Москва, 2004. – 180 с.
4. Сера техническая. Технические условия: ГОСТ 127.1-93. – Введ. 01.01.1997. – Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1997. – 9 с.
5. Песок для строительных работ. Методы испытаний. ГОСТ 8735-88. – Введ. 01.07.1989. – Государственный строительный комитет СССР: Стандартиформ, 2006. – 26 с.
6. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. ГОСТ 8267-93. – Введ. 01.01.1995. – Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве, 1995. – 12 с.
7. Волгушев А.Н. Основные физико-механические свойства строительных композитов на основе термопластического серного вяжущего. – Бетон и железобетон – 2007. – № 4. – С. 28–31.
8. Бетоны. Метод определения водопоглощения. ГОСТ 12730.3-78 – Введ. 01.01.1980. – Государственный строительный комитет СССР по делам строительства: Стандартиформ, 2007. – 4 с.
9. Морозостойкость и водонепроницаемость бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vremya-stroiki.net/morozostojkost-i-vodonepronicamost-betona/>. – Дата доступа: 05.11.2019.

УДК 691.263.5

## ПРОЧНОСТЬ И ВОДОСТОЙКОСТЬ ГИПСОВОГО КАМНЯ С БАЙПАСНОЙ И КЕРАМЗИТОВОЙ ПЫЛЬЮ

*А.С. Катульская, Л.М. Парфёнова*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: a.katulskaaya@psu.by, l.parfenova@psu.by

*В работе представлены результаты исследований минеральных добавок на основе промышленных отходов для гипсового вяжущего. Рассмотрены составы с применением в качестве минеральных добавок байпасной пыли ОАО «Кричевцементношифер» и керамзитовой пыли ОАО «Завода керазитового гравия г. Новолукомль». Показано влияние добавок на микроструктуру гипсового камня. Определены показатели водопоглощения и прочностные характеристики гипсового камня в возрасте 7 суток. Установлено, что введение байпасной пыли позволяет увеличить прочность на изгиб на 37,9%, прочность на сжатие – на 33,3%. Установлено, что введение керамзитовой пыли обеспечивает снижение водопоглощения на 22,4%, прочность на изгиб и на сжатие увеличилась на 20,7 и 47,9% соответственно.*

**Ключевые слова:** гипсовое вяжущее, гипсовый камень, байпасная пыль, керамзитовая пыль, водопоглощение, микроструктура, прочностные характеристики.

## STRENGTH AND WATER RESISTANCE OF THE GYPSUM STONE WITH BYPASS AND CERAMZITE DUST

*A. Katulskaaya, L. Parfenova*

Polotsk state university, Belarus

e-mail: a.katulskaaya@psu.by, l.parfenova@psu.by

*The paper presents the results of studies of mineral additives based on industrial waste for a gypsum binder. The compositions with the use of bypass dust as a mineral additive of OJSC «Krichevcementnoshifer» and ceramzite dust of the OJSC «Novolukoml cerasite gravel plant» as a mineral additive are considered. The effect of additives on the microstructure of gypsum stone is shown. The indicators of water absorption and strength characteristics of gypsum stone at the age of 7 days are determined. It was established that the introduction of bypass dust allows to increase the bending strength by 37.9%, the compressive strength by 33.3%. It was found that the introduction of expanded clay dust provides a decrease in water absorption by 22.4%, the flexural and compressive strength increased by 20.7 and 47.9%, respectively.*

**Keywords:** gypsum binder, gypsum stone, bypass dust, ceramsite dust, water absorption, microstructure, strength characteristics

**Введение.** Рациональное использование вторичных материальных ресурсов является перспективным направлением производства строительных материалов и изделий.

Использование промышленных отходов позволяет обеспечить строительную индустрию недорогим сырьём, а также снизить степень загрязнения окружающей среды. Масштабы применения промышленных отходов для производства экологически чистых материалов значительно выросли. Строительные материалы на основе гипсовых вяжущих отвечают экологическим требованиям и обладают преимуществами по сравнению с другими материалами. Для повышения прочности и водостойкости гипсовых вяжущих принято вводить в их состав минеральные добавки на основе промышленных отходов.

Утилизация керамзитовой пыли, которая собирается в системах пылеочистки при производстве керамзитового гравия является серьёзной проблемой. За период с октября 2018 года по сентябрь 2019 года на ОАО «Заводе керамзитового гравия г. Новолукомль» образовалось 3180 тонн данного промышленного отхода. В дальнейшем керамзитовую пыль используют при производстве керамзитобетонных блоков, возвращая в производство, часть вывозят в отвалы.

На предприятии ОАО «Кричевцементношифер» одним из отходов производства является байпасная пыль. Байпасная пыль – это печная пыль из байпасной системы и системы пылеосаждения при производстве цемента.

Целью настоящих исследований является изучение возможности повышения прочности и водостойкости гипсовых вяжущих путём введения минеральных добавок: керамзитовой и байпасной пыли.

Для проведения экспериментальных исследований использовался гипс строительный «Тайфун Мастер» № 35 марки Г-5 IIIA производства ООО «Тайфун» по ГОСТ 125 [1].

Керамзитовая и байпасная пыль просеивались через механическое сито № 02. Размер частиц, подготовленных проб материалов, определялся при помощи метода лазерной дифракции на принципе рассеяния электромагнитных волн на лазерном дифрактометре гранулометрического состава вещества фирмы Fritsch (Analysette 22 Micro Tec) (Германия). Удельную поверхность определяли на приборе ПСХ-12 и NOVA2200. Действие прибора ПСХ-12 основано на измерении удельной поверхности порошковых материалов методом по воздухопроницаемости и пористости уплотненного слоя порошка и соответствующие ей среднемассовые размеры частиц. Определение удельной поверхности на приборе NOVA2200 основано на методе БЭТ и включает две стадии: оценку по изотерме адсорбции емкости монослоя и расчет удельной поверхности с использованием молекулярной площади газа.

В таблице 1 представлен фракционный состав и показатели удельной поверхности материалов.

В составе керамзитовой пыли преобладают частицы (47, 52%) размером 5–10 мкм, 10–20 мкм, удельная поверхность пыли составляет 26 м<sup>2</sup>/г. Байпасная пыль представлена более крупными частицами, размером 20–50 мкм и 50–100 мкм, их количество составляет 72,35%, удельная поверхность – 8 м<sup>2</sup>/г.

Изучение микроструктуры и химического анализа промышленных отходов и образцов гипсового камня проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония). Химический состав материалов представлен в таблице 2.

Таблица 1. – Фракционный состав и удельная поверхность материалов

Наименование материала	Выход фракций (мкм), %										Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
	0,05-1,0	1-2	2-3	3-4	4-5	5-10	10-20	20-50	50-100	100-200	
Керамзитовая пыль	7,91	13,94	11,43	7,23	6,35	19,35	28,17	5,58	0,04	0,00	26
Байпасная пыль	3,24	1,32	1,52	1,32	1,45	5,00	13,17	32,45	39,90	0,63	8

Таблица 2. – Химический состав материалов

Наименование материалов	Оксидный состав, %								
	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CuO	FeO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
Керамзитовая пыль	9,34	4,91	16,18	50,54	1,92	11,38	3,67	0,87	1,19
Байпасная пыль	70,17	-	3,16	14,26	-	5,02	3,31	4,56	-

Определение физико-механических характеристик гипсового вяжущего с добавками проводилось на стандартных образцах-балочках размером 4x4x16 см., подготовленных из теста нормальной густоты. Образцы выдерживались в нормальных условиях при температуре 20±2 °С и относительной влажностью воздуха 95±5% в течение 7 суток, после чего определялась прочность образцов-балочек, высушенных до постоянной массы, на прессе гидравлическом марки ПГМ – 500 МГ 4А в соответствии с ГОСТ 23789[2].

Для проведения исследований были приняты следующие дозировки минеральных добавок: байпасная пыль в количестве от 1% до 15% от массы гипсового вяжущего и керамзитовая пыль в количестве 1% до 15% от массы гипсового вяжущего.

Результаты исследований по определению физико-механических характеристик гипсового камня с добавкой керамзитовой пыли приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Физико-механические свойства гипсового камня с добавкой керамзитовой пыли

Номер состава	Содержание модификатора, % от массы вяжущего вещества	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Прочность в возрасте 7 сут, МПа (%)	
				на изгиб	на сжатие
1	0	1625	4,9	2,9 (100)	4,8 (100)
2	1	1640	6,4	3,0 (104,3)	5,7 (118,8)
3	3	1692	5,6	3,7 (127,6)	7,6 (158,3)
4	5	1674	3,8	3,5 (120,7)	7,1 (147,9)
5	7	1678	4,0	3,3 (113,8)	7,1 (147,9)
6	8	1639	4,2	2,4 (82,8)	5,8 (120,8)
7	10	1632	4,0	1,9 (65,5)	3,2 (66,7)
8	15	1598	3,6	1,8 (62,1)	2,8 (58,3)

Результаты исследований показывают, что при введении керамзитовой пыли в количестве 5% (состав 4) от массы гипсового вяжущего водопоглощение гипсового камня снизилось на 22,4% по сравнению с контрольным составом, при этом прочность на изгиб и на сжатие увеличилась соответственно на 20,7% и 47,9%. Дальнейшее увеличение дозировки керамзитовой пыли привело к снижению прочностных характеристик.

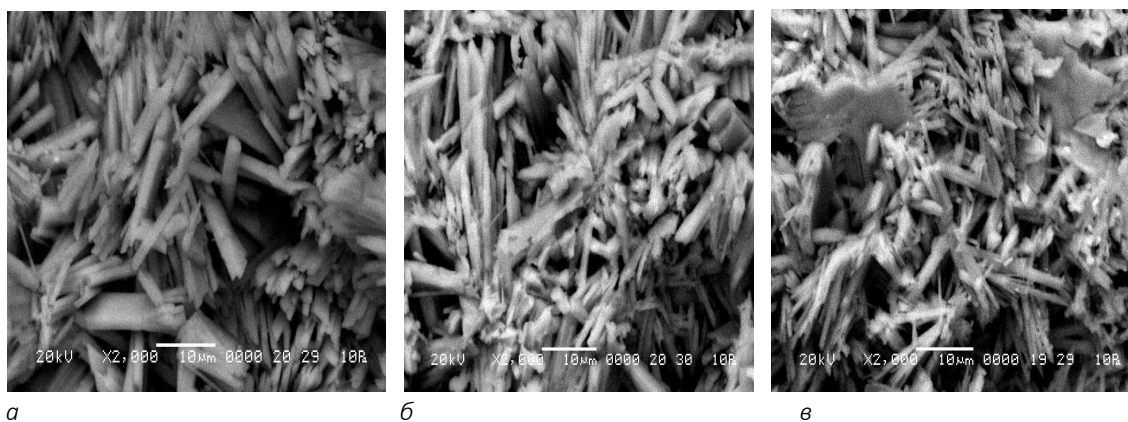
Результаты исследований по определению физико-механических характеристик гипсового камня с добавкой байпасной пыли приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Физико-механические свойства гипсового камня с добавкой байпасной пыли

Номер состава	Содержание модификатора, % от массы вяжущего вещества	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Прочность в возрасте 7 сут, МПа (%)	
				на изгиб	на сжатие
1	0	1625	4,9	2,9 (100)	4,8 (100)
2	1	1632	9,7	2,8 (96,6)	5,0 (104,2)
3	2	1641	9,9	3,0 (103,4)	5,3 (110,4)
4	3	1588	10,0	3,0 (103,4)	5,6 (116,7)
5	4	1640	11,2	3,5 (120,7)	5,5 (114,6)
6	5	1631	10,2	4,0 (137,9)	6,4 (133,3)
7	10	1597	14,6	3,4 (117,2)	6,5 (135,4)
8	15	1455	11,7	3,1 (106,9)	6,5 (135,4)

Результаты исследований показывают, что при введении байпасной пыли в количестве 5% (состав 6) от массы гипсового вяжущего снижается плотность гипсового камня, прочность на изгиб и на сжатие увеличилась на 37,9 и 33,3% соответственно.

На рис. 1 представлена микроструктура гипсового камня без добавок, с добавкой керамзитовой пыли и добавкой байпасной пыли. Микроструктура образцов гипсового камня без добавок (рис. 1, а) представлена удлиненными игольчатыми кристаллами двуводрата сульфата кальция, хаотично и неупорядоченно расположенными в матрице. Кристаллы имеют призматическую, пластинчатую форму. Структура гипсового камня характеризуется пористостью, с размером пор до 10 мкм [7].



**а** – гипсовый камень без добавок; **б** – гипсовый камень с добавкой байпасной пыли (5%);  
**в** – гипсовый камень с добавкой керамзитовой пыли (5%)

Рисунок 1. – Микроструктура гипсового камня в возрасте 7 суток при увеличении 2000 крат



В присутствии добавки на основе керамзитовой пыли (рис. 1,в) кристаллы двуводного сульфата кальция не изменили свою форму и размер по сравнению с образцами гипсового камня без добавок (рис. 1,а). Данные электронно-микроскопического анализа показывают, что в присутствии добавки на основе байпасной пыли в структуре гипсового камня появляются пластинчатые кристаллы (рис. 1,б).

**Заключение.** Проведённые исследования показали, что минеральная добавка байпасной пыли в количестве 5% от массы гипсового вяжущего позволяет повысить прочность на сжатие до 6,4 МПа в возрасте 7 суток. Минеральная добавка керамзитовой пыли в количестве 5% от массы гипсового вяжущего позволяет снизить водопоглощения на 22,4%, при этом происходит увеличение прочности на изгиб на 20,7% и прочности на сжатие – на 47,9%. Водопоглощение образцов с добавкой керамзитовой пыли составило 3,8%, что в 2,7 раза выше, чем у образцов с добавкой байпасной пыли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вяжущие гипсовые. Технические условия: ГОСТ 125 – 79 / Госстрой ССР. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с;
2. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний: ГОСТ 23789 – 2018 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.

УДК 693.54:624.012.4

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**А.П. Шведов**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: a.shvedov@psu.by

*Рассмотрен вопрос решения задачи эффективного использования профицита электроэнергии, возникающего после выхода на полную мощность Белорусской атомной станции. Предложен вариант возможного использования в больших объёмах электроэнергии в одной из ведущих отраслей Белоруссии - строительной отрасли. Рассмотрено решение использования электропрогрева, позволяющего повысить эффективность основного метода интенсификации твердения бетона с использованием электроэнергии.*

**Ключевые слова:** *Электроэнергия, электротермообработка, бетон, электрический ток, энергии, электропрогрев, электросопротивление, активированная суспензия.*

## USE OF ELECTRIC ENERGY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY REPUBLIC OF BELARUS

**A. Shvedov**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: a.shvedov@psu.by

*The issue of solving the problem of efficient use of the surplus of electricity arising after the full capacity of the Belarusian nuclear power plant is considered. The variant of possible use in large volumes of the electric power in one of the leading branches of Belarus - construction branch is offered. The solutions allowing to increase efficiency of the basic method of intensification of hardening of concrete with use of the electric power - electric heating are resulted.*

**Keywords:** *Electricity, electrothermal treatment, concrete, electric current, energy, electric heating, electrical resistance, suspension, activated.*

Первый блок АЭС мощностью 1200 МВт в Беларуси планируется ввести в эксплуатацию в 2019 году, а второй – в 2020 году. При этом АЭС, как предполагается, будет производить примерно 18 млрд. кВт·ч электроэнергии. С вводом в эксплуатацию двух блоков станции профицит электроэнергии может оказаться достаточно большим. Поэтому Беларуси надо либо строить большие энергоёмкие производства, либо стоит увеличить потребление электроэнергии за счет отказа от других энергоносителей [1].

В тоже время в республике около 200 предприятий связано с производством бетонных смесей и продукции из них. Практика производства бетонных и железобетонных работ, как при новом строительстве, так и при реконструкции зданий и сооружений в зимних условиях показала, что основным методом интенсификации твердения бетона

является электротермообработка всех разновидностей. Не менее эффективной она является и в летнее время, так как обеспечивает быстрое твердение бетона при малых энергозатратах. Выбор наиболее рационального метода электротермообработки зависит не только от характеристики обрабатываемой конструкции, но и от возможности применяемого метода, а также от имеющегося на стройплощадке оборудования.

Все виды электротермообработки основаны на преобразовании энергии электрического тока в тепловую, или непосредственно внутри бетона, при прохождении через него электрического тока, или путем преобразования энергии электрического тока в тепловую в различного рода электронагревательных устройствах [2,3,4].

Наиболее экономичными способами являются те, у которых используется принцип превращения электрической энергии в тепловую непосредственно в теле бетона. Одним из таких способов является способ индукционного нагрева бетона.

Индукционный метод особенно эффективен для густоармированных или бетонизируемых в металлической опалубке каркасных конструкций и стыков [5]. Поэтому он, в основном, применяется при возведении каркасных конструкций (колонны, ригели, балки, отдельные опоры и т.д.), замоноличивании стыков каркасных конструкций, возведении монолитных железобетонных сооружений в скользящей опалубке и объемно-переставной опалубке, при изготовлении объемных и плоских изделий замкнутой формы (трубы, опоры, колодцы, элементы элеваторов и т.д.)

Несмотря на большое разнообразие методов термообработки, их высокую эффективность и экономичность, предпочтение на практике по-прежнему отдается традиционным способам ухода за бетоном при положительных и отрицательных температурах, в частности электропрогреву.

Так как электропрогрев основан на превращении электрической энергии в тепловую непосредственно в теле твердеющего бетона, исключаются потери тепла при его получении и транспортировании. Поэтому электропрогрев наиболее экономичный среди методов интенсификации твердения бетона, связанных с использованием тепловой энергии. Характерным для данного метода является непосредственное включение бетона в электрическую цепь в качестве активного сопротивления.

Электропрогрев бетона непосредственно в опалубке обладает большими технологическими преимуществами и по своим технико-экономическим показателям превосходит многие способы ухода за бетоном. Основным преимуществом этого вида способов является высокий КПД, т.к. энергия выделяется непосредственно в теле бетона и обеспечивается равномерное температурное поле в случае правильного расположения электродов внутри массива бетона. Энергоёмкость способов представлена в таблице.

Годовое потребление цемента на душу населения в Беларуси составляет около 475 кг. То есть для интенсификации твердения бетона, приготовленного из этого цемента, можно задействовать около 1,5 млрд. кВт·ч электроэнергии.

Одним из основных параметров, которые учитываются при электропрогреве, является удельное электрическое сопротивление бетона. Данная величина учитывается как при проектировании режимов электропрогрева, так и в процессе осуществления способа. Причем удельное сопротивление бетона не является величиной постоянной, в начальный период до конца схватывания цемента удельное сопротивление понижается, а затем возрастает.

Таблица 1. – Значение удельных расходов электроэнергии в зависимости от способа электропрогрева конструкции

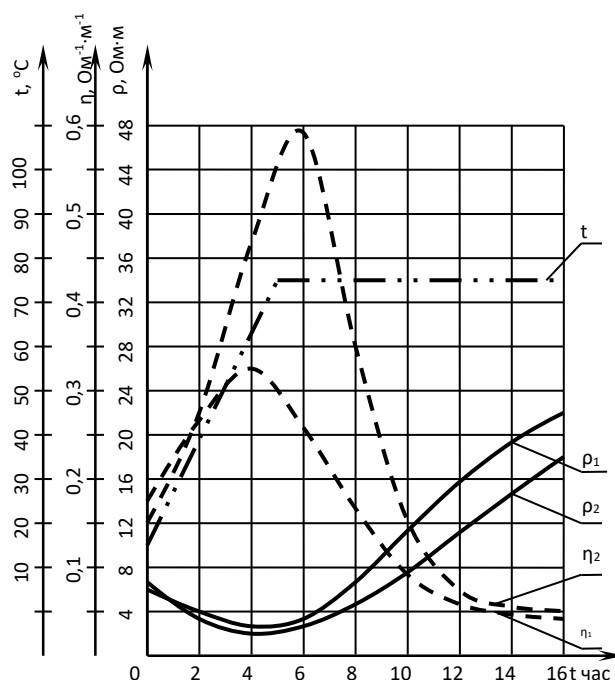
№ п/п	Способ прогрева	Удельный расход энергии, кВт.час/м <sup>3</sup>	Условия выполнения работ
1	Сквозной электропрогрев внутренними стержневыми электродами	80-85	На полигонах и стройплощадках
2	Периферийный пластинчатые и полосовые электроды	77-82	Стройплощадка, монолитный бетон
3	Индукционный способ прогрева	90-130	Стройплощадка, монолитный бетон
4	Предварительный электропрогрев бетонной смеси (горячее формование)	50-60	Стройплощадка, монолитный бетон
5	Электрообогрев с помощью нагревателей	80-100	Стройплощадка, монолитный бетон
6	Предварительный электропрогрев	60-85	Стройплощадка, монолитный бетон

Для снижения электросопротивления и увеличения тепловыделения используются различные химические добавки. В бетонах с добавками, при прочих равных условиях, относительное изменение удельного электрического сопротивления от начального периода твердения до достижения им минимального значения меньше, чем в бездобавочных бетонах. Уменьшение минимального значения электрического сопротивления за счет введения химических добавок, позволяет до трех раз понизить напряжение при электропрогреве бетона.

Что касается второй стадии изменения удельного электрического сопротивления – стадии стабилизации у бетонов без химических добавок она ничтожно мала, так как сразу же после достижения им минимального значения наблюдается повышение удельного электрического сопротивления. Введение химических добавок, например активированной цементной суспензии, разработанной в Полоцком государственном университете, позволяет растянуть во времени сам период стабилизации от 0,5 до 2 часов [6,7,8].

При проектировании режимов электропрогрева, в качестве исходной величины используется электросопротивление бетонной смеси. Поэтому был изучен характер изменения электросопротивления. Определение удельного электросопротивления проводили как для образцов содержащих активированную цементную суспензию, так и для образцов ее не содержащих.

Для бетонных смесей содержащих и не содержащих активированную цементную суспензию (рис. 1) процесс изменения удельного электрического сопротивления при электропрогреве бетона характеризуется тремя основными стадиями: понижение, стабилизация и возрастание.



$\rho_1, \eta_1$  – соответственно удельное электросопротивление и проводимость бетона без активированной суспензии;  $\rho_2, \eta_2$  – соответственно удельное электросопротивление и проводимость бетона с активированной суспензией;  $t$  – температура прогрева бетона

Рисунок 1. – Изменение электрофизических характеристик бетона в процессе электропрогрева (скорость подъема температуры 12,5°C/час)

Как видно из рисунка, начальное электросопротивление бетонных смесей, содержащих активированную цементную суспензию, несколько выше, чем у смесей без суспензии.

Анализируя полученные данные, которые приведены на графике, можно также отметить и то, что в бетонных смесях с активированной цементной суспензией длительность периода стабилизации электросопротивления в 1,5-2 раза больше, чем у бетонных смесей без суспензии. Это имеет важное значение для электропрогрева бетона, так как минимальное удельное электрическое сопротивление бетона обычно совпадает с периодом разогрева. Уменьшение на 15-20% минимального электросопротивления позволит снизить напряжение в процессе электропрогрева бетона, что уменьшит потери электроэнергии в проводах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маненок, Т. БелАЭС создаст профицит электроэнергии [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <https://www.belrynok.by/2015/09/17/belaes-sozdast-profitsit-elektroenergii/>. – Дата доступа: 12.10.2019
2. Сизов, В.Н. Строительные работы в зимних условиях / В.Н. Сизов. – М.: Госстройиздат, 1962. – 137 с.

3. Зимнее бетонирование с применением инфракрасных лучей / С.Г. Головнёв // Учебное пособие. Моделирование строительных процессов. – Челябинск, 1970.
4. Хямяляйнен, О. Бетонные работы в зимних условиях // Бетон и железобетон.– 1985.– №3.– С. 46–47.
5. Абрамов, В.С., Бессер, Я.Р. Индукционный прогрев железобетонных конструкций в зимних условиях. – М.: Стройиздат, 1967.– 25 с.
6. Блещик, Н.П., Коньков, В.В., Шведов, А.П., Шведов, И.П. Интенсификация процесса твердения бетона за счёт разрядно-импульсной обработки цементных паст // Инженерные проблемы современного бетона и железобетона: Сб. науч. ст. международн. конференции. – Минск, 1997.– т.2.– С. 9-15.
7. Калмыков, Л.Ф., Шведов, А.П. Ресурсосберегающая технология бетонирования монолитных конструкций в зимних условиях: Обзор. инфор. / БелНИИНТИ. – Минск, 1992.– 64 с.
8. Электроактивирование цементных суспензий и их использование в технологии монолитного бетона/ А.П. Шведов // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. – 2003. – Т.2. – №2.– С.74–79.

УДК 69.002.5

## СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ

**В.А. Хватынец, Л.М. Парфёнова**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: v.hvatynec@psu.by, l.parfenova@psu.by

*В статье рассмотрены основные даты, начиная с первой и заканчивая сегодняшним днём, влияющие на появление строительных 3D-принтеров. Проанализированы и описаны два основных, принципиально отличающихся, технологических процесса работы строительных 3D-принтеров. Так же, рассмотрены три имеющихся типа принтера с технологией послойной печати.*

**Ключевые слова:** строительный 3D-принтер, напыление, послойная печать, цифровая модель, моделирование.

## MODERN LEVEL OF DEVELOPMENT OF BUILDING 3D-PRINTERS

**V. Khvatynec, L. Parfenova**

Polotsk state university, Republic of Belarus

e-mail: v.hvatynec@psu.by, l.parfenova@psu.by

*The article discusses the main dates, starting from the first and ending today, affecting the appearance of building 3D printers. Two main, fundamentally different, technological processes of 3D building printers are analyzed and described. Also, three available types of printer with layered printing technology are considered.*

**Keywords:** building 3D-printer, spraying, layer printing, digital model, modeling.

В современном мире быстрыми темпами набирает популярность понятие 3D-печати. Этот технологический процесс применяется в различных отраслях, таких как: ювелирное дело, медицина, авиаконструирование, автопромышленность, машиностроение и т.д. Наряду с этим, в целях механизации и автоматизации производства, 3D технологии стали внедряться и в строительную отрасль, что происходило постепенно последние 30 лет.

Впервые строительный 3D принтер изобрёл Чарльз Халл в 1986 году [1]. В то время, технологию сочли достаточно трудной и дорогостоящей, за счёт этого принтер не получил широкого применения. Далее, спустя одиннадцать лет, в 1997 году была принята первая попытка печати с использованием в качестве вяжущего – цемент. Тогда, технология предусматривала нанесение тонкого слоя песка с последующим нанесением слоя цементного раствора для схватывания песка в тех местах, где должна был печататься бетонный элемент. После нанесения слоя цементного раствора применялся пар для быстрого набора прочности, а затем печатался следующий слой в такой же последовательности. Из-за сложности технологического процесса, данная работа не была продолжена. В 1998 году профессор Берон Хошневис из Университета Южной Калифорнии,

разработал процесс печати под название «Обработка контуром», который в последующем стал основным методом для печати домов. Исходя из названия, технологический процесс предусматривает собой выдавливание печатающего материала через сопло принтера по контуру конструкции без всяческого использования дополнительной опалубки. В 2007 году итальянский инженер Энрико Динни изобрёл крупногабаритный 3D-принтер, под названием D-Shape, технология печати которого отчасти схожа с разработкой 1997 года. Позднее, в 2012 году Пётр Новиков с коллегами из Института передовой архитектуры Каталонии в Испании, сконструировали роботизированный 3D-принтер склеивающий своим составом смесь из песка и грунта. В 2014 году Плэтт разработал технологию создания только опорных конструкций для строительного объекта, которые позволяют упростить процесс 3D-печати. Печатающий состав был подобран таким образом, что после набора прочности основных элементов, подпорные – теряли свою несущую способность и с лёгкостью демонтировались. Китайская компания Qingdao Unique Technology в 2016 году представила 3D-принтер с размерами 12x12x12 метров, создающий здания методом послойной печати. В 2017 году, итальянская компания WASP представила 3D-принтер BigDelta, который имеет высоту 12 метров и диаметр 6 метров. Отличительной способностью принтера является минимальное, по сравнению с аналогами, потребление энергии – менее 100 Вт.

Первоначально, перед процессом печати на строительном 3D-принтере, требуется создать цифровую модель элемента. Модель может быть создана как при помощи специализированных программ для моделирования, так и с использованием 3D-сканера. После чего, принтер считывает цифровую конструкцию и создаёт путь перемещения печатающей головки.

При применении строительных 3D-принтеров, существует два основных способа печати, напыление и послойная печать. Каждый из методов имеет свои преимущества, и требует детального рассмотрения.

Метод напыления [2], или второе его название – торкретирование (рисунок 1).

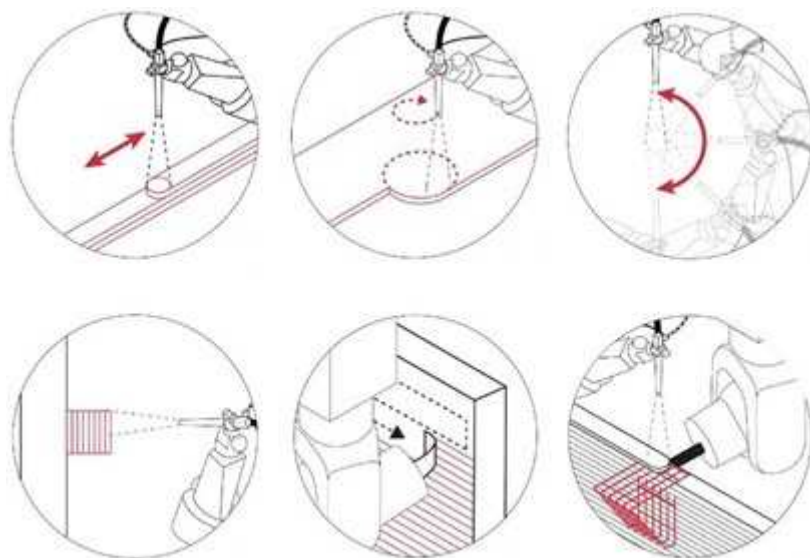


Рисунок 1. – Создание печатного слоя методом напыления



Данный метод производства работ существует уже много лет. Раствор быстро и легко наносится на все виды поверхности и позволяет включать армирование даже при нестандартной геометрии. По сравнению с послойной печатью, распыление даёт некоторые преимущества, бетон можно распылять не только как горизонтальный слой, но и на вертикальную поверхность, регулируя сроки схватывания. Помимо этого, появляется возможность внедрения арматуры внутрь конструкции. Ещё одним преимуществом является увеличения сцепления между слоями, благодаря энергии удара торкретирования. Одним из основных примеров сооружений выполненных этим методом является оперный театр в Тайване от Тойо Ито.

Вторым основным методом является послойная печать, при котором наносят слои небольшой толщины один на один (рисунок 2).

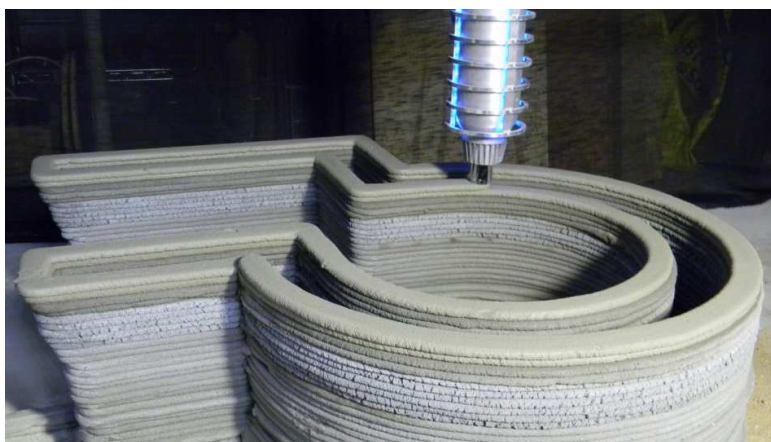


Рисунок 2. – Создание печатного слоя методом послойной печати

Задача принтера заключается в том, что бы сформировать стены заданной геометрической формы с пустотами внутри. Стоит отметить, что большее количество 3D-принтеров имеют именно этот способ печати. Однако, такие принтеры имеют три основных типа, в связи с различными архитектурными и конструктивными требованиями.

Первый тип принтера с послойной печатью имеет название D-shape (рисунок 3).

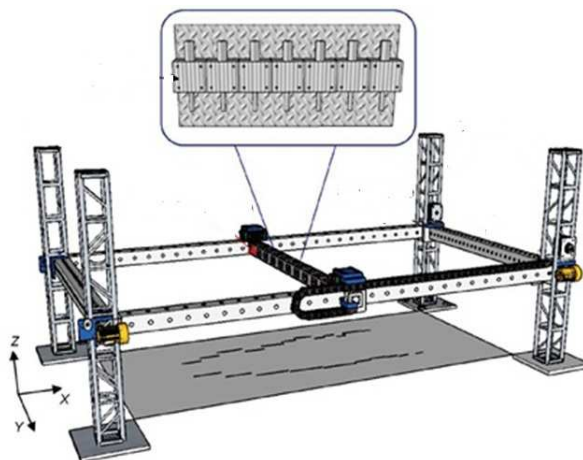


Рисунок 3. – Принтер D-shape

Это большой 3D-принтер который выборочно укрепляет песок при помощи связующего вещества. Печатающая головка, снабжённая набором насадок-распылителей, наносит связывающий раствор для местного твердения песка. Оставшийся песок служит для поддержки структуры. Процесс происходит послойно. После завершения, напечатанное изделие может быть извлечено, а оставшийся песок – повторно используется при дальнейшей печати.

Второй тип – это контурная обработка. Масштабный процесс автоматического построения, который управляется компьютером для создания гладких и точных плоскостей. Контурная обработка обеспечивает лучшее качество получаемой поверхности (рисунок 4). Способ был разработан для решения проблемы высокоскоростного автоматизированного строительства. Портальная система может передвигать печатающее сопло вдоль осей X и Y, а две, параллельно скользящие конструкции перемещают сопло вдоль оси Z.

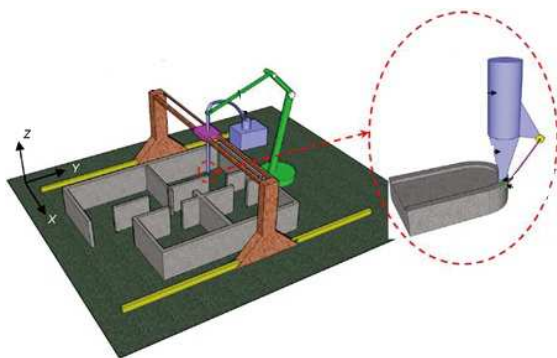


Рисунок 4. – Принтер с контурной обработкой

Третий тип принтера с послойной печатью называется «бетонная печать». Этот принтер в некоторой степени похож на контурную обработку, поскольку для экструзии цемента используется печатающая головка, установленная на раме. Однако этот способ является более точным, что приводит к лучшей точности сложных геометрий (рисунок 5).

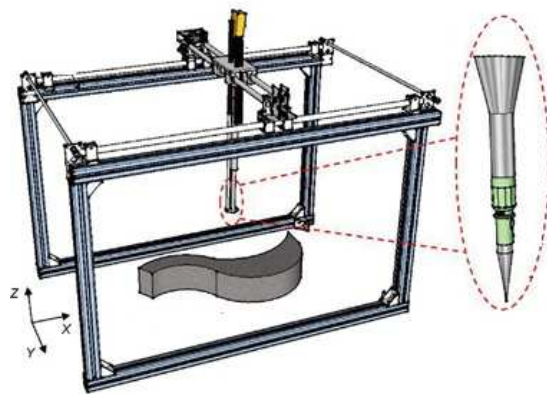


Рисунок 5. – Принтер типа «бетонная печать»

Бетон поступает в контейнер принтера через насос, откуда плавно поступает в печатающее сопло, и лишь после этого бетонные нити выдавливаются из сопла, что бы непрерывно печатать поперечное сечение конструктивных элементов.

Подводя итог, можно отметить, что развитие 3D-печати в строительстве в последние годы продвигается быстрыми темпами, и всё чаще появляются новые модели принтеров и составы смесей для них. Это в большей степени связано с всеобщей компьютеризацией и переходом строительной сферы в цифровое пространство. Даже несмотря на то, что существует достаточно большой выбор принтеров и печатающих смесей, разработки в этом направлении не прекращаются, и каждый год появляются новые разработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. GuoWei, M.A. State-of-the-art of 3D printing technology of cementitious material – An emerging technique for construction / M.A. GuoWei, WANG Li, J.U. Yang // Science China Press and Springer. – 2017. – С. 1-20.
2. Lindemann, H. Development of a shotcrete 3D-printing (SC3DP) technology for additive manufacturing of reinforced freeform concrete structures / H. Lindemann, R. Gerbers, S. Ibrahim, F. Dietrich, E. Herrmann, K. Droder, A. Raatz, H. Kloft // RILEM Bookseries 19. – 2019. – С. 287-298.
3. Ватин Н.И. 3D-печать в строительстве / Н.И. Ватин, Л.И. Чумадова, И.С. Гончаров, В.В. Зыкова, А.Н. Карпеня, А.А. Ким, Е.А. Финашенков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – С. 27-47.

УДК 625.7/8

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ

**Г.В. Проваторова**

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: asf.inst@yandex.ru

*В работе рассмотрена возможность применения модифицирующих добавок, полученных из вторичного сырья, и их влияние на свойства вяжущих после введения.*

**Ключевые слова:** битум, добавки, ПЭТФ, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, модификатор.

## WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF ROAD BITUMEN

**G. Provatorova**

Vladimir state University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,  
Russian Federation  
e-mail: asf.inst@yandex.ru

*The paper considers the possibility of using modifying additives obtained from secondary raw materials, their influence on the properties of binders after administration is investigated.*

**Keywords:** bitumen, additives, PET, polymer-bitumen binders, asphalt-the concrete, the modifier.

В условиях нарастающей экологической напряженности в мире проблема рационального использования и эффективного сбережения природных ресурсов становится важнейшей задачей жизнедеятельности любого государства.

Исключительно важное значение имеет не только сбережение сырьевых ресурсов, но и их повторное использование. Значение вторичных сырьевых ресурсов для поддержания экологически безопасного уровня воздействия на окружающую среду весьма значительно, а их использование является одним из необходимых условий внедрения малоотходных и безотходных технологий, позволяющих снизить стоимость работ, повысить качество применяемых материалов без значительного их удорожания.

Применительно к дорожному строительству вопросы использования вторичных ресурсов стоят не менее актуально. Основными направлениями исследований по данному вопросу являются применение сфрезерованного асфальтового гранулята и модификация битумов побочными продуктами различных производств и техногенными или бытовыми отходами, в частности, пластиками и изделиями из них.

В данной работе рассмотрены пути повышения качества дорожного битума путем его модификации продуктами переработки пластика и нанодобавками.

Модификация - наиболее широко применяемый способ улучшения качества дорожных битумов, предусматривает введение специальных добавок – модификаторов,

позволяющих получить вяжущее с заданными свойствами, отвечающими требованиям природно-климатических условий района проведения работ, разновидности минеральных материалов, используемых в составе применяемого асфальтобетона. Применение модификаторов позволяет улучшить весь комплекс свойств асфальтобетона – повысить его прочность, деформативные показатели, морозостойкость, водоустойчивость и др. Наиболее эффективно и технически осуществимо в настоящее время направление, связанное с модифицированием битумов и получение полимерно-битумных вяжущих.

В нашей стране накоплен значительный опыт модификации как неорганических, так и органических вяжущих.

Актуальность темы модификации органических вяжущих обусловлена тем, что с увеличением интенсивности движения и утяжеления состава транспортного потока, появлением на дорогах большого числа автомобилей иностранного производства, нагрузки на ось которых, превышают нормативные, увеличивается величина механических нагрузок, которым подвергаются битумы в дорожном покрытии. Существенно усложняют работу вяжущего и температурные воздействия. В данном исследовании предпринята попытка улучшить эксплуатационные и технологические свойства дорожных битумов за счет их модификации полиэтилентерефталатом (ПЭТФ) и углеродными нанотрубками (УНТ).

Улучшению свойств битума современными модификаторами (полимерными добавками, наномодификаторами и др.) посвящено множество работ [4,5,6].

Существует несколько направлений получения модифицированного битума и образования полимерно-битумного вяжущего в зависимости от состава и строения вводимых полимерных добавок, наиболее распространенными являются:

- модифицирующие добавки, изменяющие физико-механические свойства и структуру вяжущего, при этом компоненты вступают между собой в химическое взаимодействие, в результате образуется единая пространственная матрица (структура) полимерно-битумного вяжущего;

- модифицирующие добавки выполняют структурирующую функцию и действуют как армирующий элемент, повышающий механические свойства и температурную устойчивость модифицируемого битума.

В настоящей работе в качестве базовой модифицирующей добавки битума был взят пластик полиэтилентерефталат (ПЭТФ).

В нашей стране и за рубежом из этого пластика изготавливаются емкости для пищевых продуктов (прохладительных напитков, растительных масел и т.п.). Количество, выбрасываемых после использования емкостей исчисляется сотнями тысяч в год [6]. Таким образом, решая проблему использования этого пластика, мы наряду с решением экологической проблемы, получаем материал для дорожного строительства с высокими технологическими свойствами.

Одной из основных причиной малой долговечности асфальтобетонных покрытий является их низкая теплостойкость, т.е. резко различающаяся прочность асфальтобетона в пределах рабочих температур (в годовом цикле). Эту ярко выраженную температурную зависимость в асфальтобетон привносит битум, о недостаточном качестве которого, говорилось достаточно много.

Кроме того, следует понимать, что с введением новых нормативов на дорожные материалы на постоянной, а не на рекомендательной основе, остро встает вопрос качества асфальтобетонных покрытий, т.к. требования ПНСТ для показателей качества асфальтобетона более жесткие, чем в действующих ГОСТах, что требует применения только модифицированных битумов или полимерно-битумных вяжущих при изготовлении асфальтобетонных смесей.

Таким образом, если бы удалось придать битуму желаемую теплостойкость, то и асфальтобетон приобрел это свойство. Эту проблему мы и пытались решить, вводя в битум ПЭТФ.

Физико-механические свойства пластика характеризуются высокой стабильностью в широком температурном интервале [7], одной из важнейших особенностей его является сочетание высокой механической прочности, стойкости к действию влаги, теплостойкости, устойчивости с отрицательным температурам даже при  $-50^{\circ}\text{C}$ . Вводя модификатор в битум, можно скорректировать все интересующие нас свойства - понизить температуру хрупкости, повысить температуру размягчения, улучшить растяжимость (эластичность), а, следовательно, повысить качество асфальтобетона в дорожном покрытии.

Дефекты поверхности асфальтобетона, возникающие во время эксплуатации автодорог, обусловлены корреляцией реологических и физико-механических свойств вяжущего. По И.А. Рыбьеву [1], существует прямая зависимость между физико-механическими свойствами строительных конгломератов и вяжущего, формирующего их структуру.

Работы по приготовлению модификаторов и модификация битумов выполнялась в лаборатории института архитектуры, строительства и энергетики (ИАСЭ) Владимирского государственного университета.

В ходе лабораторных работ была разработана технология диспергации ПЭТФ, в массу нефтяного битума и получены зависимости основных свойств битума от количества вводимого модификатора – глубины проникания иглы, температуры размягчения, растяжимости, температуры хрупкости.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Свойства модифицированного битума

Образец	Пенетрация при температуре 25/0 °С, 0,1мм	Эластичность при температуре 25/0 °С, см	Температура размягчения по КиШ, °С
Без маркировки	83/22	97/3,5	48
1	84/23	101/3,5	50
2	86/23	102/3,7	52
3	86,5/23	107/3,7	53
4	86/23	108/3,7	53
5	85/23	107,3/7	53
6	84/23	107/3,69	52,5

Одной из основных проблем в применении данного модификатора является введение его в вяжущее. Если вводить его непосредственно в битум, то потребуются длительное нагревание при высоких температурах, что приводит к старению битума уже на этапе его модификации. Мы пошли по пути растворения предварительно измельченного пластика в подходящем растворителе, который, в свою очередь, хорошо совмещается с битумом. Так что при температуре 130°C, мы добились полного растворения, при этом растворитель выделялся в виде нетоксичных паров.

Полученные результаты показали значительное повышение температуры размягчения, а также снижения температуры хрупкости (до - 29°C). Температуры хрупкости модифицированных битумов были определены косвенным путем, из температурных зависимостей глубины проникания иглы, что дает некоторую погрешность, однако в целом сходимость показателей удовлетворительная.

Анализ всех этих зависимостей позволил рассчитать оптимальное количество пластика, вводимого в качестве модификатора. Различные исследования показывают, что оптимальное количество ПЭТФ, вводимое в битум, составляет 4-6% [4], однако введение такого количества в отдельных случаях может вызвать его агрегатирование в массе битума. Для устранения или снижения вероятности такого явления было предложено использовать комплексный модификатор ПЭТФ+УНТ.

Одно из направлений модификации органических вяжущих, примененных в данной работе, связано с введением в состав битумов углеродных наноразмерных структур. Эта разновидность модификации является довольно дорогостоящей на всех стадиях процесса, начиная с получения УНТ и заканчивая процессом введения УНТ в состав битума. Известно, что введение УНТ в состав асфальтобетона повышает ряд его эксплуатационных свойств на величину от 10% до 30% [9]. Однако использование такой добавки обеспечивает повышение всей нормативных показателей качества асфальтобетона и значительно увеличивает его работоспособность, долговечность и межремонтные сроки дорожного покрытия, что перекрывает затраты на его внедрение.

**Заключение.** Таким образом, применение данного решения позволяет:

- получить предпосылки к созданию долговечного асфальтобетонного покрытия с высокими эксплуатационными свойствами при использовании вторичного ПЭТФ и УНТ в качестве модификаторов дорожных битумов;
- утилизировать бытовые и техногенные отходы, улучшить экологическую обстановку.

Результаты проведенных исследований согласуются с теоретическими положениями зарубежных [5,6,7] и отечественных [4,8,9] исследователей и показателями опытно-производственных испытаний, исследования физико-механических свойств и структуры вяжущего.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбьев, И.А. Закономерности в структурно-механических свойствах асфальтового бетона // Сб.тр. ВЗИСИ. – М., 1957. – Т.1. – С. 78-95.

2. Колбановская, А.С. Дорожные битумы / А.С. Колбановская, Е.В. Михайлов. – М., Транспорт, 1973. – 264 с.
3. Руденская, И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М., Транспорт, 1984. – 229 с.
4. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон: метод. Пособие для слушателей ГОУ ДПО ГАСИС / сост.: Л.М. Гохман. – М., Изд-во ГОУ ДПО ГАСИС, 2008. – 94 с.
5. Morgan P., Mulder A. The Shell bitumen industrial handbook. Surrey: Shell Bitumen; 1995.
6. The Shell Bitumen Handbook. Fifth Edition. Shell Bitumen. 2003, 460 p.
7. Luz, S. Quintero, Luis E/ Sanabria. Analysis of Colombian Bitumen Modified With a Nanocomposite // Journal of Testing and Evaluation (JTE)/ Volume 40, Issue 7, (Decemder 2012).
8. Шеховцова, С.Ю. Эффективный асфальтобетон на основе наномодифицированного полимерно-битумного вяжущего. Диссертация к.т.н. 05.23.05. – Белгород, 2016. – 192 с.
9. Ядыкина, В.В. Перспективы применения наноуглеродных трубок для повышения качества битума и асфальтобетона / В.В. Ядыкина, А.Е. Акимов, Н.Г. Спицына, А.С. Лобач // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Междунар. Научно-практич. Конф., 11-12 окт. 2011 г., Белгород: сб. докл. / Белгородский гос. технологич. ун-т. – Белгород, 2011. – Ч.4. – С. 306-309.



УДК 625.068.2

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЗА СЧЕТ ПОВЕРХОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ (ПАВ)

**И.И. Юдин, Л.В. Закревская**

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация

e-mail: igor12081998@mail.ru, lvzak@mail.ru

*В данной статье рассмотрены вопросы укрепления грунтового основания за счет поверхностно-активных веществ (ПАВ).*

**Ключевые слова:** глинистые грунты, поверхностно-активные вещества, поликарбонат, карбометилцеллюлоза.

## WAYS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF SOIL STRENGTHENING BY WORKED OUT SLIGHTLY-ACTIVE SUBSTANCES (SURFACTANTS)

**I. Yudin, L. Zakrevskaya**

Vladimir state University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,  
Russian Federation

e-mail: igor12081998@mail.ru, lvzak@mail.ru

*This article discusses the issues of strengthening of subgrade at the expense of surface-active substances (surfactants).*

**Keywords:** clay soils, surfactants, soil strengthening.

Большую часть грунтовых оснований Владимирской области составляют пылевато-глинистые грунты с высоким процентным содержанием частиц размером менее 0,005 мм. Свойства глинистых грунтов определяются их составом, состоянием и структурными особенностями [1].

Важной задачей строительства является обеспечение требуемой надежности и долговечности оснований сооружений. В связи с этим усовершенствуются технологии, которые позволяют использовать отходы горнодобычи. Неоспорим эффект от устройства оснований из местных грунтов, укрепленных известьсодержащими отходами, подтверждаются рядом исследований [2]. В таблице один представлен состав отходов Мелеховского месторождения.

Таблица 1. – Известковые отходы Мелеховского месторождения

Наименование компонента	Массовая доля в скелете, %
Портландит	68,35
Кальцит	25,23
Периклас	4,12
Кварц	2,29

На рисунке 1 представлены результаты рентгенофазового анализа извести содержащих отходов.

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

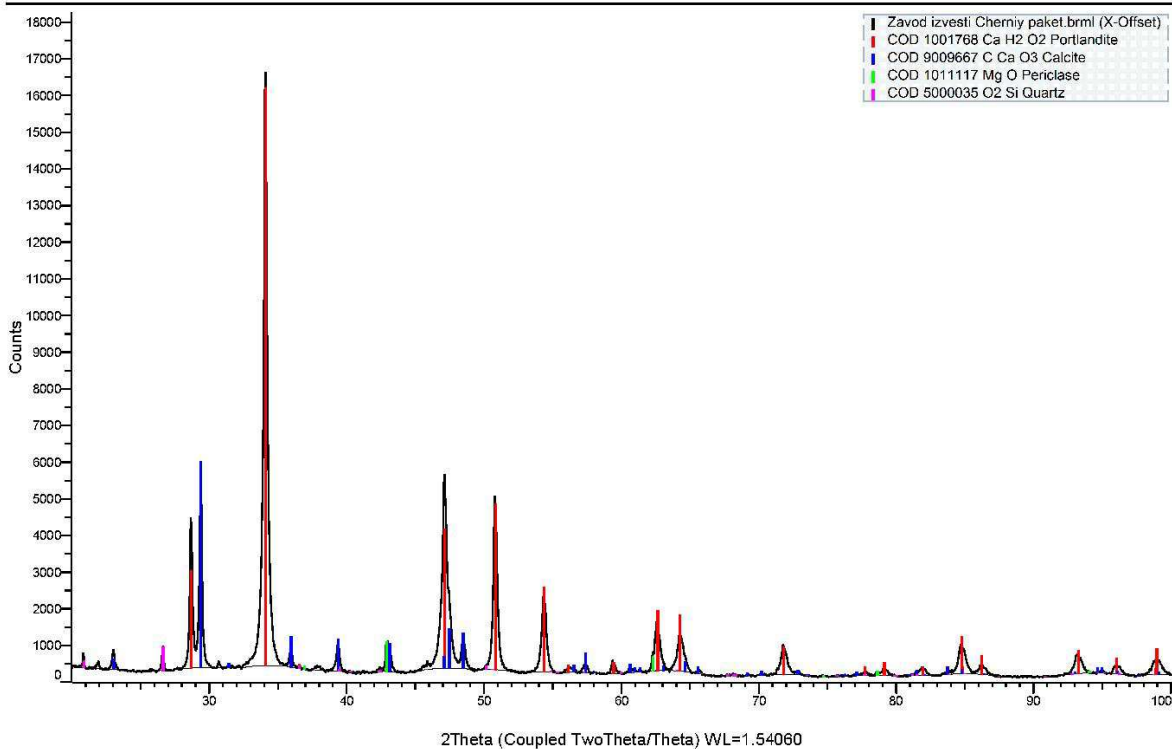


Рисунок 1. – Рентгенофазовый анализ применяемого грунта

Наличие на территории Владимирской области глинистых грунтов является фактором, сдерживающим развитие территорий, занятых новым строительством из-за изменения физико-механических свойств грунта при увлажнении.

Укрепление глинистых грунтов вяжущими приводит к увеличению стоимости строительства.

Использование поверхностно - активных веществ позволяет ликвидировать способность взаимодействия глинистых грунтов с водой за счет нейтрализации сил поверхностного притяжения воды, при этом гидрофобная пленка препятствует проникновению воды в зону контакта частиц грунта и предохраняет его от размокания [3].

Глинистый грунт – это многофазная дисперсная система со сложным химическим и минералогическим составом. Так как вода в грунте может быть рыхлосвязанной или прочносвязанной, то от этого фактора будет зависеть характер связи грунт-вода-ПАВ.

В данном исследовании использовался поликарбоксилатный суперпластификатор Макромер П-16. В таблице 2 представлены его физико-химические свойства.

При использовании суперпластификаторов достигаются следующие преимущества:

– высокая пластифицирующая и водоредуцирующая способность поликарбоксилатных суперпластификаторов позволяет увеличить подвижность бетонной смеси от П1

до П5 и снизить содержание воды более, чем на 25% (в зависимости от области применения);

- существенно увеличивается жизненный цикл бетонов и растворов во времени, что продлевает время их транспортировки и применения по назначению;

- повышается долговечность изделий и конструкций из бетона. Применение поликарбоксилатных суперпластификаторов позволяет получать бетоны с повышенной водонепроницаемостью, трещиностойкостью и морозостойкостью, а также значительно снизить энергетические затраты при укладке (исключается операция уплотнения).

Таблица 2. – Физико-химические свойства

Марка/ Наименование показателя	Макромер П-16 ТУ 5745-387-10488057-2014
Внешний вид	Жидкость от бесцветного до желтого цвета без механических примесей
Плотность при 25 °С, г/см <sup>3</sup>	1,110±0,005
Показатель активности ионов водорода, ед. рН, в пределах	6,0-8,0
Содержание сухих веществ, %	40,0
Вязкость динамическая при 25 °С, мПа·с, в пределах	140-280

Карбометилцеллюлоза (КМЦ) способна формировать вязкий коллоидный раствор, длительное время сохраняющий свои свойства. КМЦ используется в качестве пластификатора. КМЦ контролирует реологию вязких систем, является водорастворимым полимером, обладающим пленкообразующим свойством. КМЦ является биоразрушаемой, нетоксичной добавкой, используется при бурении скважин в качестве компонента, понижающего водоотдачу, замедлителя срока схватывания вяжущих.

Экспериментальная часть. Для исследований был выбран анионоактивный ПАВ, как наиболее целесообразный для карбонатных глинистых грунтов. Дополнительное введение в композицию КМЦ позволяет увеличить плотность и прочность, позволяющие значительно расширить область его применения. В таблице 3 представлены составы, синтезированных композитов.

Таблица 3. – Составы синтезированных композитов

Компонент	Марки составов, %											
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12
Глина	72,5	55	70	70	70	45	50	50	50	57	50	50
Отходы извести	10	15	10	10	10	23	25	25	25	25	25	15
КН <sub>2</sub> РО <sub>4</sub>	7	-	-	-	-	7	7	7	7	-	-	-
Пластификатор П-16	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3
КМЦ	-	5	3	5	7	5	5	5	5	5	5	10
Вода	10	19,6	16,7	14,5	12,6	19,7	12,5	12,6	12,7	12,5	19,6	24,7

В таблице 4 представлены результаты исследования технических характеристики синтезированных составов.

Таблица 4. – Технические характеристики синтезированных составов

Марка состава	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Расплав конуса, см	Прочность на сжатие, МПа	Водостойкость, %
П1	0,57	11,3	6,58	0,38
П2	0,7	11,9	2,88	0,66
П3	0,68	11,5	9,55	0,68
П4	0,67	11,5	12,45	0,67
П5	0,63	12,5	7,8	0,39
П6	0,75	12	5,02	0,41
П7	1,95	12	24,7	0,70
П8	1,48	12	16,2	0,62
П9	1,35	12,2	15,4	0,61
П10	1,75	11,9	15,2	0,59
П11	1,51	11,7	16,1	0,48
П12	1,46	11,8	15,2	0,49

Из таблицы 4 видно, что образец П7 характеризуется наилучшими прочностными и гидрофобными показателями.

**Вывод.** В ходе исследования был получен композит для укрепления грунтового основания за счет поверхностно-активных веществ и известь содержащих отходов. Композит рекомендован для укрепления грунтовых оснований и формирования ограждающих конструкций с использованием 3D печати в строительстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нехорошев, А.В., Гусев, Б.В., Баранов, А.Т, Холпанов, Л.П. Явления, механизм и энергетические уровни образования структурированных дисперсных систем // Доклады АН СССР. – 1981. – Т. 258. – №1. – С. 149–153.
2. Вдовин, Е.А., Мавлиев, Л.Ф., Строганов, В.Ф. Пути повышение эффективности укрепления грунтов для строительства дорожных одежд // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 1 (29). – С. 52–58.
3. Федулов, А.А. Применение поверхностно-активных веществ (стабилизаторов) для улучшения свойств связных грунтов в условиях дорожного строительства: автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н., спец.: 05.23.11, 2005 – С. 28

УДК 691.5

## ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВЯЖУЩЕГО ИЗ ДОЛОМИТА

*К.А. Андреева, Л.В. Закревская*

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: ksusha.red@mail.ru, lvzak@mail.ru

*В данной статье представлено исследование расширения сырьевой базы производства новых строительных материалов на основе полубоженных отходов доломита, гидрофобизирующих и армирующих добавок, применяемого для наружных и внутренних работ.*

*Ключевые слова:* отходы доломита, магнезиальное вяжущее, армирующие добавки.

## FINISHING MATERIALS BASED ON THE BINDER OF DOLOMITE

*K. Andreeva, L. Zakrevskaya*

Vladimir state University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,  
Russian Federation  
e-mail: ksusha.red@mail.ru, lvzak@mail.ru

*This article presents a study of the expansion of the raw material base for the production of new building materials based on semi-burnt dolomite waste, hydrophobic and reinforcing additives used for external and internal work.*

*Keywords:* dolomite waste, magnesia binder, reinforcing additives.

В современном строительстве существует потребность в материалах с повышенными эксплуатационными характеристиками и специальными свойствами. В связи с этим, во всем мире активно ведутся работы по расширению номенклатуры вяжущих и получению на их основе новых композиционных материалов, с чем связан возрастающий интерес к магнезиальным вяжущим.

Известно, что изделия на основе магнезиальных вяжущих обладают быстрым набором прочности при сжатии (через 1 сутки воздушного твердения прочность достигает 35 МПа, а к 7 суткам – более 90% от проектной), высокой конечной прочностью (обычно не менее 50 МПа), низкой истираемостью, экологической безопасностью, биостойкостью, высокими декоративными, что обеспечивает широкое применение [1].

Все возрастающие требования экологической безопасности и рост цен на энергоносители диктуют необходимость внедрения новых технологий и расширения номенклатуры эффективных вяжущих веществ низкотемпературного обжига, пригодных для получения строительных материалов с высокими эксплуатационными показателями. В связи с этим, магнезиальные вяжущие, также актуальны [2]. Энергозатраты на их производство существенно ниже, чем на производство портландцемента, что делает их перспективными как с экологической, так и с экономической точки зрения.

Номенклатура строительных материалов на магниезиальных вяжущих весьма широка. На их основе производят теплоизоляционные, отделочные материалы, сухие строительные смеси. Магнезиальные материалы можно армировать стекловолокном, а также древесиной (ксилолит) и другими волокнами растительного происхождения. Органические наполнители совершенно не разрушаются в изделиях из магниезиальных вяжущих, чему способствует их дезинфицирующее действие, препятствующее развитию микроорганизмов. На основе магниезиальных вяжущих можно получать изделия с высокими декоративными свойствами, что немаловажно с точки зрения эстетики. Благодаря введению различных пигментов в состав смеси можно получать магниезиальные бетоны различных цветов. Добавляя крошку мрамора, гранита и др., можно имитировать различные природные камни. Из магниезиальных вяжущих производят декоративные строительные материалы широкого спектра применения, например, детали интерьеров, обрамления окон, арок, лепнину. Вместе с тем, изделия из такого материала легко поддаются механической обработке [3].

Магнезиальные вяжущие используют при производстве стекломагнезиальных листов (СМЛ), стеновых панелей и бруса [4]. На основе силикатов магния и алюмомагнезиального сырья получают широкую номенклатуру строительных керамических изделий [5, 6, 7, 8].

Магнезиальное вяжущее является перспективным строительным материалом, но его производству, по крайней мере, в нашей стране, не уделяется должное внимание. В настоящее время, на российском рынке магниезиальные вяжущие представлены в основном линейкой продуктов ПМК-75, ПМК-83 и МКС. Однако, неравномерное распределение их производства по территории страны и высокая востребованность привели к удорожанию магниезиальных вяжущих и их дефициту в Европейской части страны.

Вместе с тем доломиты широко распространены по всей стране (более 100 месторождений с суммарными запасами около 9 млрд. тонн породы) и являются, как правило, либо невостребованным местным сырьем, либо отходами огнеупорной промышленности. Острая необходимость утилизации скопившихся в отвалах отходов доломитов, делает актуальной задачу получения на их основе магниезиального вяжущего. Поэтому разработки и внедрение технологий магниезиальных вяжущих из доломитов и материалов на их основе представляют научный и практический интерес.

Также, научный и практический интерес представляет расширение номенклатуры вяжущих, разработка и внедрение новых технологий магниезиальных вяжущих строительного назначения и производства на их основе современных строительных материалов и изделий [9, 10, 11].

Показатель содержания MgO является важной характеристикой вяжущего, его содержание должно быть не менее 30% [2]. Однако он контролирует общее аналитическое содержание оксида магния, включая образовавшийся при хранении  $Mg(OH)_2$ , а также сильно-, средне- и слабоактивный оксид магния (пережог). Если  $Mg(OH)_2$  может лишь незначительно снижать активность вяжущего, то присутствие в больших количествах пережога приведет в поздние сроки твердения к образованию сквозных трещин

в сформированном магнезиальном камне. Поэтому содержание пережога MgO должно быть не более 5%.

Существующие способы промышленного производства магнезиального вяжущего из доломитов являются не эффективными при высоких температурах > 720°C, так как во время обжига декарбонизация магниевой составляющей породы неизбежно сопровождается частичным разложением кальциевой до оксида кальция (извести), резко снижающего качество и технические характеристики вяжущего. Решить данную проблему должно применение добавок-интенсификаторов при обжиге доломита [2].

Основной особенностью магнезиальных вяжущих веществ (каустические доломит и магнезит) является их способность прочно схватываться с органическими заполнителями и надежно защищать их от гниения в процессе эксплуатации [12, 13].

Очень важной особенностью комплекса физико-механических свойств разработанных технологий, на основе магнезиального вяжущего, является игольчато-древовидная структура кристаллов, которая и обеспечивает магнезиальному бетону, несмотря на высокую твердость, устойчивость к ударным нагрузкам [13].

Экспериментальная часть. Задача данной работы состояла в исследовании возможного расширения сырьевой базы производства строительных материалов, обладающих высокой механической прочностью, хорошей адгезионной способностью, и водостойкостью.

Данная задача решалась за счет использования полубожеженных отходов доломитового производств, гидрофобизирующих и армирующих добавок.

Оксид MgO в составе вяжущего характеризуется высокой реакционной способностью вследствие большого количества дефектов кристаллической решетки, что обеспечивает равномерность изменения объема и как следствие повышение предела прочности при сжатии [рис. 1]. На рисунке 1 представлена электронно-микроскопические исследования.

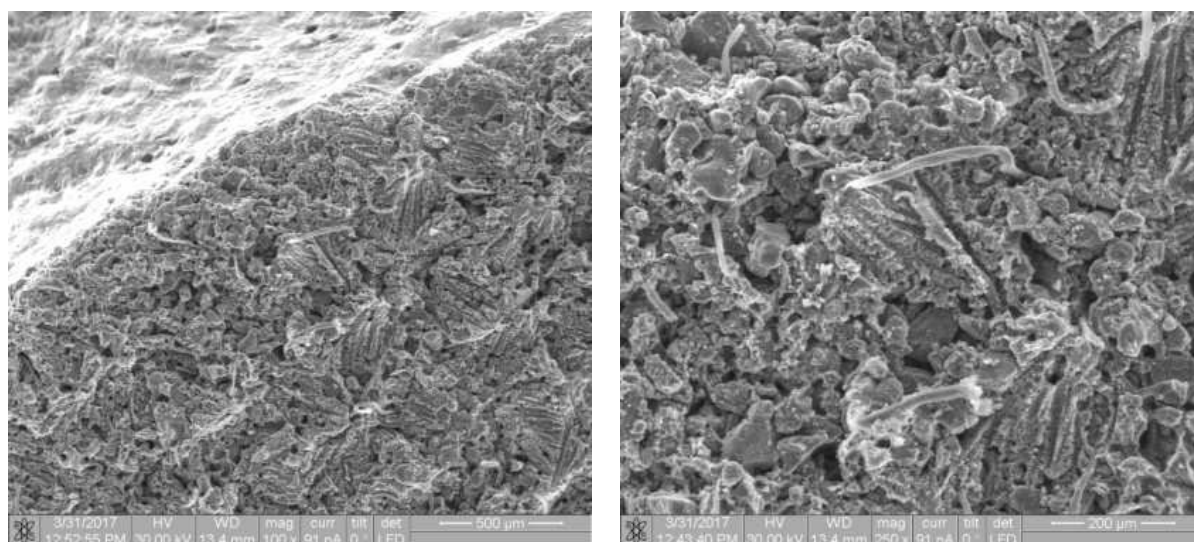


Рисунок 1. – Электронно-микроскопические исследования структуры образцов

В таблице 1 приведены примеры составов исследованных сырьевых смесей.

Таблица 1. – Составы сырьевых смесей

Компоненты	Содержание, масс. %		
	Марка образца		
	П-1	П-2	П-3
Обоженные отходы доломита	35	57	64
Сульфаты	4	3	2
Фосфат щелочного металла	4	2	3
Древесный наполнитель	50	30	10
Пеностекло	1,5	1,0	2,5
Аэросил	1	2,0	1,5
Затворитель	4,5	5,0	17

Результаты испытаний полученных композитов представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Свойства композиционных материалов

Марка образца	Плотность, кг/ м <sup>3</sup>	Водостойкость, K <sub>p</sub> , %	Прочность на сжатие, МПа		
			3 сут.	14 сут.	28 сут.
П-1	605	0,92	7	16	22
П-2	810	0,90	8	21	28
П-3	1210	0,95	8,7	25	34

Из таблицы 2 видно, что предлагаемая сырьевая смесь позволяет получить отделочный материал как для внутренних, так и для наружных работ, обладающей высокой водостойкостью ( $K_p = 0,92-0,96$ ) и достаточной механической прочностью.

**Вывод.** Полученный материал позволит расширить сырьевую базу производства отделочных материалов для внутренних и наружных работ, обладающих высокими механической прочностью, хорошей адгезионной способностью, и водостойкостью.

Также, полученные материалы соответствуют предъявленным требованиям к отделочным материалам в соответствии с ГОСТ Р 56707-2015 «Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нуждин, С.В. Комплексно модифицированное магниезиальное вяжущее и бетоны на его основе. / дис. канд. техн. наук. 05.23.05 / Челябинск, 2006 - 155 с. РГБ ОД, 61:07-5/1223.
2. Крамар, Л.Я. Минеральные вяжущие на основе высокомагнезиального природного сырья: монография / Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных, А.А. Орлов, Б.Я. Трофимов. - Челябинск: ООО «Искра-Профи», 2012. – 146 с.
3. Гришина, М.Н. Получение водостойких магниезиальных вяжущих с использованием местного сырья и отходов промышленности: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Гришина Марина Николаевна. – Барнаул, 1998. – 21 с.
4. Yunsong, J. A new type of light magnesium cement foamed material / J. Yun-song // Materials Letters. –2002. – 56. – P. 353–356.



5. Гурьева, В.А. Влияние алюмомagneзиального сырья на свойства строительной керамики / В.А. Гурьева // Вестник ОГУ. – 2011. – № 4. – С. 165–169.
6. Гурьева, В.А. Магнезиальное техногенное сырье в производстве строительных керамических материалов / В.А. Гурьева // Вестник ЮУрГУ: Серия «Строительство и архитектура». - 2013. – Том 13. – №1. – С. 30–37.
7. Прокофьева, В.В. Строительные материалы на основе силикатов магния / В.В. Прокофьева, З.В. Багаутдинов. - СПб.: Стройиздат, 2000. –198 с.
8. Gur'eva, V.A. Application of magnesium-bearing technogenic raw material in the production of decorative-finishing ceramics / V.A. Gur'eva// Glass and Ceramics. –2009. – Т. 66. – 3-4. – P. 95–98.
9. Жукова, И.А. Магнезит, брусит, дунит / И.А. Жукова. – Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. – Москва, 2013. –Вып. 39.–45 с.
10. Клейкова, Н.И. Строительные камни. Том 2. Часть 7. Уральский федеральный округ / Н.И. Клейкова. - Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. - Москва, 2012. – Вып. 76. – С. 373–563.
11. Тарасов, А.Г. Доломит для металлургии / А.Г. Тарасов. - Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. – Москва, 2013. – Вып. 71.–51 с.
12. Ганина Е.А., Закревская Л.В. «МАГНЕЗИАЛЬНОЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ МЕСТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. III междунар. науч.-практ. конф. № 11(47). – Новосибирск: СИБАК, – 2015.
13. Черных Т. Н. Физико-химические закономерности получения энергоэффективных магнезиальных вяжущих веществ с улучшенными характеристиками и материалов на их основе : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : спец. 05.17.11 / Т. Н. Черных ; Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ) ; науч. конс. Л. Я. Крамар. – Томск, 2016. – 42 с.

УДК 625.7/.8

АРМИРОВАНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЖАРНЫХ ПРОЕЗДОВ,  
ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ И ВНУТРИДОМОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

*А.В. Вихрев, А.И. Герасимов*

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,

Российская Федерация

e-mail: gaihilch@rambler.ru

*В статье затрагивается тема повышения прочности и долговечности конструкции дорожного полотна пожарных проездов, подъездных путей и внутридомовых территорий с помощью применения различных геосинтетических материалов (ГМ). Проведены исследования образцов до и после армирования асфальтобетонного покрытия. В результате анализа данных исследований определены закономерности использования геосеток разных производителей и способа их устройства на прочностные характеристики дорожного полотна, сформулированы определенные выводы.*

**Ключевые слова:** армирование, асфальтобетон, геосинтетический материал, прочность, долговечность, пожарный проезд, модуль упругости, сжатие, изгиб, оценка эффективности.

REINFORCEMENT OF ASPHALT CONCRETE COATINGS OF FIRE PASSAGES, ACCESS ROADS AND  
IN HOUSE AREAS WITH GEOSYNTHETIC MATERIALS

*A. Vikhrev, A. Gerasimov*

Vladimir state University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,

Russian Federation

e-mail: gaihilch@rambler.ru

*The article deals with the topic of increasing the strength and durability of the roadway structure of fire passages, access roads and intra-house territories through the use of various geosynthetic materials (GM). Researches samples before and after reinforcement of asphalt concrete covering are carried out. The analysis of these studies identified patterns of use of geogrids of different manufacturers and their devices on the strength characteristics of the roadway, formulated certain conclusions.*

**Keywords:** reinforcement, asphalt concrete, geosynthetic material, strength, durability, fire resistance, modulus of elasticity, compression, bending, efficiency evaluation.

**Введение.** Существующие асфальтобетонные покрытия пожарных проездов, подъездных путей и придомовых территорий в большинстве случаев уже не удовлетворяют современным требованиям. В крупных городах сейчас практически в каждом дворе размещаются супермаркеты, доставка продуктов и товаров в которые осуществляется тяжелыми

машинами ежедневно. Большая часть дорог способна пропускать лишь относительно легкие автомобили с нагрузкой на ось не более 6 тс. В то же время автомобильная промышленность развивает производство тяжелых машин с нагрузкой на ось до 10 тс.

Повышение осевой нагрузки от транспортных средств большой грузоподъемности на дорожные покрытия из асфальтобетона, а также увеличение интенсивности грузопотоков совместно с климатическими и геологическими факторами, приводит к образованию колеи, трещин и выбоин, то есть к разрушениям асфальтобетонного полотна проездов. В результате несущая способность дорожных одежд многих автомобильных дорог, пожарных проездов и подъездных путей исчерпана. Отсюда возникает необходимость в частых ремонтах, кроме того увеличивается число дорожно-транспортных происшествий.

Создание удобных и прочных проездов для пожарной техники — это неотъемлемая составляющая современного благоустройства придомовой территории. Такие проезды должны обеспечивать свободный маневр пожарной технике и быть безопасными. Очень часто пожарные бригады встречаются с полным отсутствием пожарных проездов, разворотных площадок, а также мест для парковки специализированной техники.

Случается, что уже обустроенные пожарные проезды не выдерживают регламентированную правилами нагрузку — 16т на ось. Разрушенные асфальтобетонные проезды с колеями, выбоинами и ямами создают помехи своевременному приезду на место пожарных бригад, что препятствует спасению людей, оперативной и эффективной ликвидации очага возгорания. В связи с удешевлением строительства сейчас очень много применяется газонных решеток для обустройства пожарных проездов. Нормы этого делать не запрещают, но не все газонные решетки имеют необходимую несущую способность, что также препятствует проезду пожарной техники. Поэтому очень важно технически грамотно запроектировать дорожное покрытие пожарных проездов на требуемую нагрузку, кроме того необходимо запроектировать так, чтобы покрытие было долговечным и не дорогим.

**Основная часть.** Существует несколько путей улучшения технических характеристик асфальтобетонных покрытий и увеличения межремонтных сроков. Один из них - это армирование асфальтобетона с помощью геосинтетических материалов.

Область применения геосинтетиков достаточно широка, а использование - эффективно.

Применение геосинтетики предусматривается в большинстве инженерных проектах строительства, реконструкции и капитального ремонта пожарных проездов, подъездных путей и придомовых территорий. Основные причины успешного применения:

— экологическая — использование геосинтетических материалов благоприятно сказывается на окружающей среде (уменьшается расход природных строительных материалов, снижаются объемы подготовительных геотехнических работ и т.д.);

— экономическая — применение геосинтетических материалов позволяет существенно снизить вложения денежных средств при строительстве, ремонте и содержании дорог. Высокий экономический эффект использования конструкций дорожных одежд с геосеткой достигается снижением затрат на ремонт асфальтобетонного покрытия. Так, в течение 10 лет в конструкциях без армирующего слоя необходимо провести три

средних ремонта (на третий, шестой и девятый годы), а при использовании геосетки промежуточных ремонтов практически нет. Увеличение межремонтных сроков очень важный показатель в условиях плотной городской застройки. Ведь даже небольшой ремонт дорожного покрытия доставляет множество неудобств и затрудняет проезд автотранспорта всех видов, что ведет к образованию автомобильных пробок и заторов;

– технологическая — благодаря изометрической структуре георешетки нагрузка воспринимается и перераспределяется равномерно на 360°. Таким образом создается механически стабилизированный слой с исключительными инженерными характеристиками, способный выдерживать повышенные транспортные нагрузки. ГМ имеют хорошую адгезию с битумосодержащими материалами (асфальтобетоном).

Данные отечественных и зарубежных исследований свидетельствует о том, что армирование асфальтобетонных покрытий геосинтетическими материалами позволяет существенно повысить их сопротивление растягивающим напряжениям, возникающим от совместного воздействия температурных и силовых воздействий, а также уменьшить колебание, трещинообразование и увеличить срок службы в 2-4 раза.

Задачи проводимых исследований — установление закономерностей изменения прочностных и деформативных параметров асфальтобетонных покрытий при введении армирующих прослоек из геосинтетических материалов. [1].

Изучались прочностные характеристики асфальтобетонных образцов (на сжатие и изгиб), армированных на разных глубинах геосетками нескольких производителей.

На основании результатов проведенных исследований выявлены закономерности влияния места размещения геосетки и ее типа на характеристики асфальтобетонного покрытия.

На основе полученных экспериментальных данных можно предложить методику учета типа и способа размещения геосеток в асфальтобетонном покрытии с учетом их влияния на прочность и долговечность асфальтобетона.

В ходе экспериментальных исследований применялись геосинтетические материалы отечественных и зарубежных производителей: на базе материалов Tensar: AR1, AR-G, GlasstexPatch, Glasstex P50, Glasstex P100, «Glasstex P 20», а также геосетки производства компании «Армдор»: ГСК-50, ГСК-70, ГСК-100, ГСК-120.

При проведении экспериментов сетки укладывались между верхним и нижним слоями асфальтобетона различной толщины. В качестве основного показателя рассматривалось значение превышения предела прочности на растяжение при изгибе (по сравнению с минимально допустимым, для выполнения условия прочности) в процентах.

Расчет конструкции дорожной одежды выполнялся с помощью программы Credo-Radon по методике ОДМ 218.5.001-2009 «Методические рекомендации по применению георешеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог».

Некоторые обобщенные данные исследований предела прочности при изгибе и модуля упругости на поверхности слоев дорожного полотна приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Данные исследований

Вариант геосинтетического материала	Увеличение показателей $R_{Нзг}$ и $E_v$ по сравнению с неармированными образцами, %			
	При $t=0^{\circ}\text{C}$		При $t=10^{\circ}\text{C}$	
	R-изг	$E_v$	R-изг	$E_v$
ГСК 70	6,3	16,1	8,4	21,6
ГСК 50	4,1	10	6,8	18
СТ 20	0	0	0	0

Исходя из данных в таблице 1 видно, что применение армирования позволяет увеличить предел прочности и модуль упругости асфальтобетонных образцов. Чем выше прочность и модуль упругости ГМ, тем больший будет эффект. Так же определялись значения предела прочности образцов с прослойками из геосеток различных типов на сжатие при температурах:  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  и  $50^{\circ}\text{C}$ .

На основании анализа полученных данных в ходе исследований были сделаны соответствующие выводы:

1. Устройство армирующей прослойки позволяет существенно увеличить предел прочности на растяжение при изгибе.

2. Принимая во внимание, что прочность всех участвующих в эксперименте геосеток имеет значение 50-55 кН/м, совершенно очевидно, что основополагающим фактором, влияющим на увеличение прочностных характеристик армированных асфальтобетонных покрытий, является относительная деформация ГМ при разрыве. Чем меньше относительная деформация при разрыве, тем больше прочность конструкции.

3. При расположении ГМ в нейтральной (в центре по высоте) или в сжатой зоне (выше от центра) образца эффекта увеличения предела прочности на растяжение при изгибе от армирования не наблюдается.

4. Армирование в растянутой зоне (ниже от центра) образца-балки допускает повысить предел прочности на растяжение при изгибе.

5. С повышением температуры испытания образца асфальтобетона от 0 до  $+10^{\circ}\text{C}$  величина прочности возрастает до 30%.

6. Закономерности изменения модуля упругости асфальтобетона с устройством армирующего материала повторяют закономерности изменения предела прочности на растяжение при изгибе.

7. При испытании на сжатие образцов асфальтобетона, независимо от марки ГМ и температуры испытаний, расхождения результатов испытаний неармированных асфальтобетонных образцов от армированных не выявлено.

8. Циклические нагрузки показали, что необходимо произвести большее количество циклов нагружения до момента разрушения армированного образца, чем неармированного.

**Заключение.** Актуальность внедрения инновационных технологий в дорожном строительстве сегодня очевидна и бесспорна. Проблема повышения сдвигоустойчивости и трещиностойкости, а следовательно, долговечности асфальтобетонных покрытий

является особенно актуальной при постоянно возрастающей интенсивности движения и наметившейся тенденции роста осевых нагрузок на автомобильных дорогах, городских улицах и придомовых территориях.

И, наконец, условия рыночной экономики и экономической самостоятельности заставляют считать деньги и строителей. Например, применение геосеток для армирования асфальтобетона дает возможность снижать толщину последнего до 20%.

Экономическая эффективность и широкая область применения геосинтетиков в различных областях, а особенно в дорожном строительстве, позволяют говорить о них как о весьма перспективных материалах, которые зарекомендовали себя на рынке строительных и дорожных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крашенинин, Е.Ю. Развитие конструктивно-технологических решений для продления срока службы асфальтобетонных покрытий, армированных геосинтетическими материалами: в климатических условиях Сибири и Крайнего Севера: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.23.11 / Е.Ю. Крашенинин : Сиб. автомобил.-дорож. акад. (СибАДИ). – Омск, 2009. – 21 с.
2. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. RSTO-2000. BAST. Ausgabe, 2000. – S. 76.
3. ОДМ 218.5.001-2009 Методические рекомендации по применению георешеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог. – Министерство транспорта РФ.: М., 2001. –144 с.
4. ОДМ 218.5.005-2010 Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству // Федеральное Дорожное Агентство (Росавтодор) : Москва, 2010. – 15 с.

УДК 666.913:66.074.5:621.311

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ГИПСА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**В.И. Турчанинов, В.В. Кабанова, Т.В. Лагизова**

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация  
e-mail: lera.kabanova.1997@mail.ru , tanya-lagizova@mail.ru

*Рассмотрены основные источники загрязнения атмосферы диоксидами серы, их негативное воздействие на экологию, в частности на флору и фауну. Приведены технологические схемы улавливания серного ангидрида. Выполнен анализ эффективности различных технологий очистки дымовых газов тепловых электростанций от серного ангидрида. Отмечена наиболее рациональная схема улавливания диоксида серы с целью получения техногенного сырья для гипсовых вяжущих. Технико-экономические расчеты подтверждают экономическую целесообразности производства строительных материалов из отходов промышленности.*

**Ключевые слова:** диоксид серы, дымовые газы, десульфурация, химический гипс.

## CHEMICAL GYPSUM AS A BUILDING MATERIAL FOR CONSTRUCTION

**V. Turchaninov, V. Kabanova, T. Lagizova**

Orenburg State University, Russian Federation  
e-mail: lera.kabanova.1997@mail.ru , tanya-lagizova@mail.ru

*The sulfur dioxide is one of the main sources of air pollution which has a negative impact on the environment, in particular on flora and fauna. This article demonstrates various technological scheme of the capture of sulphur dioxide. The analysis of efficiency of different flue gases treatment technologies of thermal power plants from sulfuric anhydride is carried out. The most rational scheme of capture of sulfur dioxide is noted for the purpose of receiving technogenic raw materials for gypsum binders. Technical and economic calculations confirm the economic feasibility of building materials production from industrial waste.*

**Keywords:** sulfur dioxide, flue gases, desulfurization, chemical gypsum.

В настоящее время глобальный характер приобретает проблема загрязнения атмосферного воздуха за счёт выбросов вредных веществ при работе промышленных предприятий. Значительные выбросы сернистых соединений наблюдаются при переработке сульфидного сырья в цветной металлургии и при сжигании твердого топлива на ТЭС. На долю ТЭС приходится 14% совокупного загрязнения атмосферы техногенными отходами.

Выбросы диоксида серы с дымовыми газами ТЭС, работающих на сернистом твердом или жидком топливах, характеризуется высокой токсичностью и является одной

из основных причин высокой заболеваемости и смертности. По данным Greenpeace Россия занимает 2 место с объемом 3683 тыс. тонн в рейтинге стран, которые в 2018 году произвели наибольшие выбросы в атмосферу диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ).

Наиболее целесообразным методом снижения концентрации  $\text{SO}_2$  является десульфурация или процесс обессеривания дымовых газов. Продукт, полученный после промышленной переработки, представляет собой химический гипс. Он состоит из дигидрата сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , имеет те же характеристики, что и природный гипс, и является высококачественным и экологически чистым продуктом.

Десульфурация может осуществляться мокрым, полусухим и сухим методами.

Все сухие способы сероочистки основаны на вводе в дымовые газы сухого реагента в тонко диспергированном (размолотом) виде. Поскольку хемосорбция проходит только на поверхности частиц, то возникает необходимость тонкого помола реагента: чем тоньше помол, тем больше поверхность его контакта с дымовыми газами.

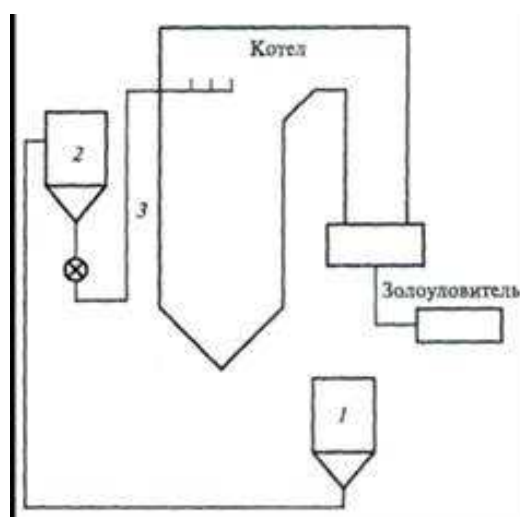
Однако степень измельчения реагента прямо влияет на стоимость реагента: чем тоньше помол, тем больше расход энергии и тем более сложную схему необходимо применить.

Существует два направления сухой сероочистки:

- получение реагента из вводимого в дымовые газы вещества с последующим взаимодействием полученного реагента с диоксидом серы дымовых газов;
- ввод в дымовые газы готового реагента, который сразу же начинает связывать диоксид серы.

В первом случае используют известняк, во втором - известь и соду.

В сухой известковой технологии используется тонко размолотая известь - негашеная  $\text{CaO}$  или гашеная  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , которую вводят в конвективную шахту котла в зону температур примерно  $850^\circ\text{C}$ .

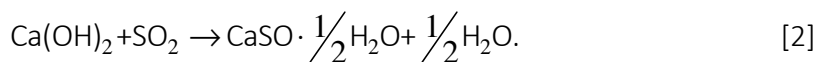


1 – силос молотой извести; 2 – расходный бункер; 3 – система пневмотранспорта извести

Рисунок 1. – Принципиальная схема сухой известковой сероочистки



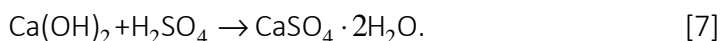
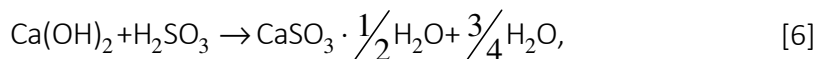
Реакция взаимодействия реагента с диоксидом серы:



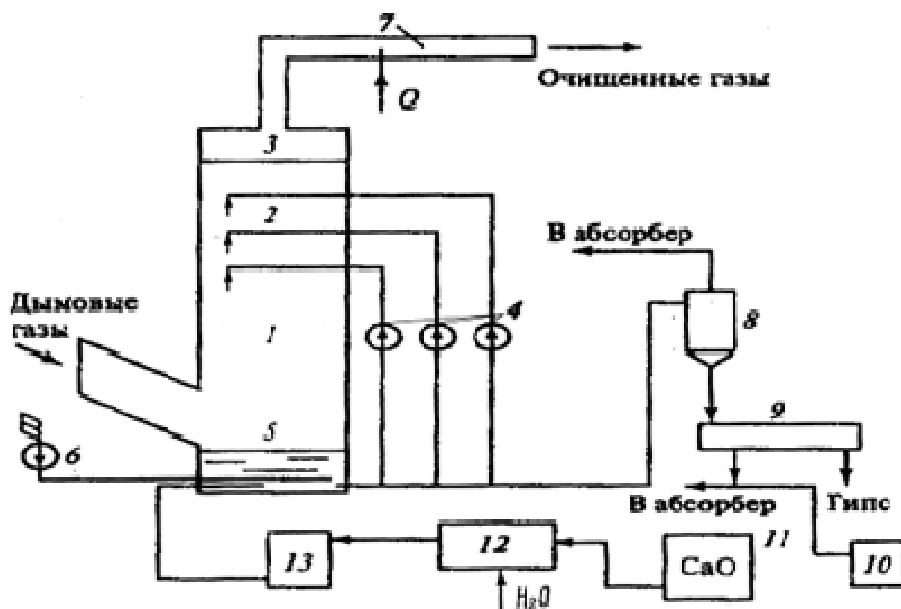
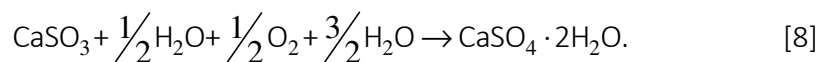
В мокрых технологиях сероочистки дымовые газы интенсивно промывают водной суспензией или водным раствором извести. При этом улавливаемый диоксид серы растворяется в воде, что способствует максимальному ускорению его связывания реагентом.

Мокрая известковая технология основана на связывании оксидов серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  водной суспензией извести с образованием сульфита кальция и последующим его окислением до двухводного сульфата (гипса).

При абсорбции оксидов серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  протекают следующие реакции:



Реакция получения двухводного гипса:



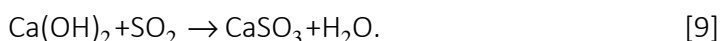
- 1 – абсорбер; 2 – яруса орошения; 3 – брызгоуловитель; 4 – насосы циркуляции известковой суспензии; 5 – сборно-окислительная емкость; 6 – узел принудительного окисления сульфита; 7 – нагреватель очищенных газов; 8 – гидроциклоны; 9 – узел обезвоживания гипса; 10 – узел нейтрализации и очистки сточных вод; 11 – силос извести; 12 – установка гашения извести; 13 – узел приготовления известковой суспензии

Рисунок 2. – Схема мокрого способа очистки дымовых газов от  $\text{SO}_2$ .

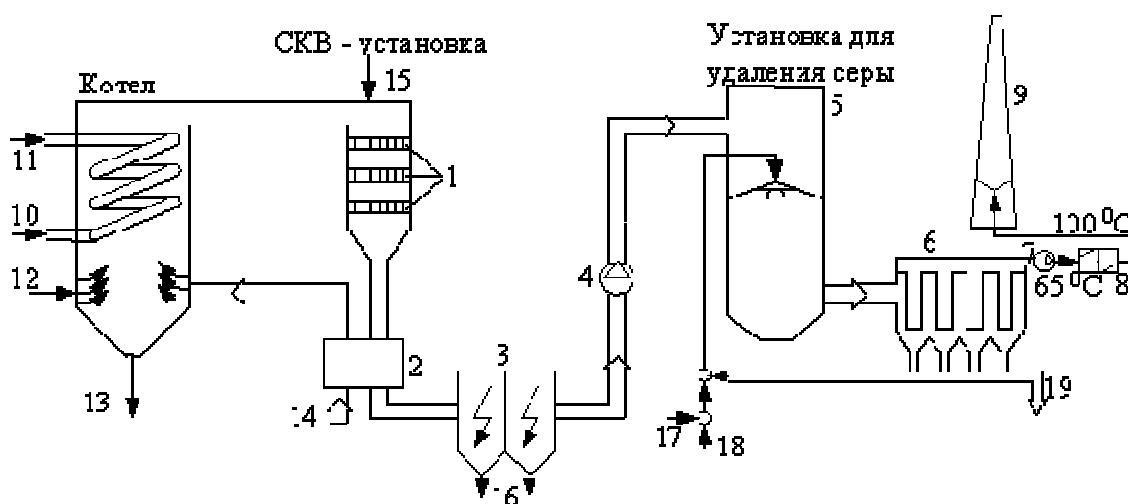
Мокрая известковая сероочистка занимает второе место в мировой практике по распространению на тепловых электростанциях вследствие меньших размеров и стоимости оборудования и более низких эксплуатационных расходов по сравнению с мокрой известняковой технологией. Но работа с известью требует соблюдения определенных правил безопасности для исключения ее воздействия на окружающую среду и здоровье населения. На наш взгляд в этих выводах не учтено, что в дымовых газах преобладает диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , который также будет взаимодействовать с известью с образованием карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ . Таким образом будет наблюдаться значительное увеличение расхода реагента, образование отходов очистки дымовых газов, представленных как гипсом, так и известняком. При этом значительно возрастут расходы на очистку отходящих газов и последующее разделение известняка и гипса.

При мокро-сухом методе очистки реагент вводится в дымовые газы в виде тонко диспергированной жидкости (водной суспензии или водного раствора). Под действием тепла дымовых газов вода испаряется, в результате чего на выходе из абсорбера прореагировавшее вещество присутствует в сухом виде.

Протекает реакция с образованием сульфита кальция:



Ввод реагента в жидком виде ускоряет процесс сорбции, поскольку в воде и реагент, и диоксид серы присутствуют в ионной форме, что ускоряет их взаимодействие по сравнению с сухими технологиями и снижает избыток реагента.



- 1 – катализатор; 2 – РВП; 3 – электрофильтр; 4, 7 – дымососы; 5 – абсорбер; 6 – тканевый фильтр; 8 – подогреватель; 9 – дымовая труба; 10 – питательная вода; 11 – пар;  
12 – угольная пыль; 13 – зола; 14 – воздух; 15 – впрыск аммиака; 16 – летучая зола;  
17 – известь; 18 – вода; 19 – продукты реакции

Рисунок 3. – Схема мокросухого способа очистки дымовых газов от  $\text{SO}_2$

К преимуществам мокро-сухого метода можно отнести: простоту технологической схемы, небольшие затраты, меньший расход тепловой энергии на подогрев дымовых газов по сравнению мокрым методом, отсутствие сточных вод.

Недостатками способа являются: значительное энергопотребление (3 – 6% мощности ТЭС), повышенный расход дорогих реагентов (извести), низкое качество сухих отходов (отсутствие гипсовых вяжущих веществ), необходимость установки системы очистки дымовых газов от твердых частиц (продуктов реакции) после абсорбера.

Из-за этих недостатков мокро-сухой метод не получил широкого применения.

В зависимости от применяемой извести получают безводный или полуводный гипс.

Экологические требования, предъявляемые действующим законодательством, привели к исследованиям, касающимся повышения ценности отходов тепловых электростанций (синтетический гипс и зола). Гипс, полученный в результате протекания химических реакций, может быть использован для производства гипсовых вяжущих, таких как строительный гипс, высокопрочный гипс, ангидритовый цемент и эстрихгипс по традиционным технологиям.

Достаточное высокое содержание примесей снижает качество гипсовых вяжущих, полученных из гипсосодержащих отходов. Следовательно, химический гипс следует подвергать обогащению. Одним из наиболее доступных и эффективных способов обогащения является метод пенной флотации, широко применяемый в горнообогатительной промышленности. Он основан на том, что вещества, имеющие различную поверхностную энергию, обладают различной смачиваемостью и могут либо вовлекаться в пену, либо выпадать в осадок. Таким образом можно отделить двуводный гипс от примеси известняка, а последний повторно использовать для очистки топочных газов от серного ангидрида.

Определенный интерес представляют безобжиговые гипсовые вяжущие. Они представляют собой двуводный гипс, твердение которого протекает по негидратационной схеме, сущность которой сводится к тому, что тонкодисперсный увлажненный двуводный гипс частично растворяется в воде, а затем при удалении влаги (сушка в естественных либо искусственных условиях) выкристаллизовывается, связывая между собой разрозненные частицы гипса в монолит. Таким образом можно получать гипсовые изделия из дисперсного двуводного гипса, минуя стадию обжига. Подобная технология реализуется при получении изделий способом прессования.

Гипсовые изделия отличаются гигиеничностью, небольшой средней плотностью (1200-1500 кг/м<sup>3</sup>), высокой пористостью (30-60%), огнестойкостью, архитектурной выразительностью, высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Гипсовые вяжущие применяют для ускорения схватывания известково-песчаных растворов, повышения прочности штукатурного слоя, при изготовлении гипсовых деталей и гипсобетонных изделий, при получении гипсоцементно-пуццолановых вяжущих, в качестве основы мастик для приклеивания листов сухой штукатурки.

Гипсовые вяжущие тонкого помола с нормальными сроками схватывания применяют для изготовления форм и моделей фарфоровых, фаянсовых и других керамических изделий.

Универсальность материалов на основе гипса также позволяет архитекторам, владельцам зданий и декораторам создавать привлекательные элементы для современных интерьеров.

Производство химического гипса создает множество положительных экономических и экологических преимуществ. С экономической точки зрения производство химического гипса создает доход от продукта, который в противном случае приводит к расходам по обращению с отходами. Благодаря созданию ценного продукта из отходов, материал не хранится на полигонах, а загрязнение окружающей среды уменьшается. Кроме того, более широкое использование химического гипса уменьшает потребность в природном гипсе. Синтетические гипсовые продукты даже имеют преимущества перед натуральными гипсовыми продуктами с точки зрения затрат и воздействия на окружающую среду.

Все гипсовые продукты (натуральные и синтетические) также образно считаются «зелеными» с точки зрения их способности к переработке. Это связано с тем, что гипс пригоден для вторичной переработки, что является основным преимуществом при производстве гипса в коммерческий продукт. Гипс также является редким примером повторного использования замкнутого цикла, то есть способности использовать отходы продукта для производства одного и того же продукта снова и снова.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Основной метод очистки отходящих газов от диоксида серы [Электронный ресурс] // Общая экология: [учеб. материалы]. – Режим доступа: <https://all-ecology.ru/index.php?request=full&id=110>, свободный. – Дата обращения: 21.10.2019.
2. Greenpeace выпустил мировой рейтинг источников диоксида серы [Электронный ресурс] // Greenpeace. Новость 19.08.2019. – Режим доступа: <https://greenpeace.ru/news/2019/08/19/17737/>, свободный. – Дата обращения: 21.10.2019.
3. Турчанинов, В. И. Использование химического гипса в производстве гипсовых вяжущих [Электронный ресурс] / Турчанинов В. И., Солдатенко Л. В. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 23-25 янв. 2019 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон.дан. – Оренбург: ОГУ,2019. – С. 536-542.
2. Петропавловская, В.Б. Использование техногенных гипсосодержащих отходов в безобжиговых прессованных композитах: автореф. дис ... канд. тех. наук: 05.23.05 / В.Б. Петропавловская. – Красково, 2005. – 24 с.

УДК 691

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА ЛИТОГО ТИПА

**А.А. Макаева, С.В. Шерстнев, Ю.В. Шерстнев**

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*Возрастающие во всем мире интенсивность автомобильного движения и грузоперевозок предъявляют высокие требования к эксплуатационным характеристикам дорожного покрытия. Оно должно обладать повышенными показателями шероховатости и ровности, а также прочности и устойчивости дорожной одежды в целом. Одним из материалов, в наибольшей степени отвечающих перечисленным требованиям, является литой асфальтобетон. Использование литого асфальтобетона в мировом дорожном строительстве в последние годы неуклонно растет. Данная работа посвящена уникальному строительному материалу, известному человечеству с древнейших времен, но мало знакомое современному специалисту в области дорожного материаловедения.*

**Ключевые слова:** дорожное покрытие, литой асфальтобетон, битум нефтяной дорожный, поверхностно активные добавки.

## FEATURES OF CAST ASPHALT CONCRETE APPLICATION

**A. Makaeva, S. Sherstnev, Yu. Sherstnev**

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*The increasing intensity of road traffic and cargo transportation all over the world places high demands on the performance characteristics of the road surface. It should have increased roughness and evenness, as well as strength and stability of the road surface as a whole. One of the materials that most meet these requirements is cast asphalt concrete. The use of cast asphalt concrete in world road construction has been steadily increasing in recent years. This work is devoted to a unique building material, known to mankind since ancient times, but little familiar to the modern specialist in the field of road materials science.*

**Keywords:** road surface, cast asphalt concrete, petroleum bitumen, surface active additives.

Асфальтобетон литой представляет собой строительный материал, изготовленный по литевой технологии на основе битумного вяжущего, минерального порошка, песка, щебня и специальных поверхностно активных добавок. Приготовление данной смеси происходит в смесителях принудительного действия путем смешивания, нагретых до определенной температуры заполнителей и нефтяного битума, взятых в определенных пропорциях.

За счет более высоких температур, чем у традиционных асфальтобетонных смесей, они обладают высокой подвижностью и, легко распределяясь по поверхности, укладываются в конструкцию дороги без уплотнения. С понижением температуры материал затвердевает и образует прочное трещиностойкое и водонепроницаемое покрытие с остаточной пористостью всего 2 %.

Данная особенность материала обусловлена его не совсем обычным составом и способом изготовления. В отличие от обычного асфальтобетона, где решающим фактором выступает соотношение и форма щебня и песка или минерального порошка, для литого асфальтобетона важна микроструктура, которая, в свою очередь связана с качеством асфальтового вяжущего. Его доля в составе литых асфальтобетонов увеличена до 28% (7 – 10% битум и 20 – 30% минеральный порошок). Именно благодаря такой высокой концентрации в конечном продукте и происходит формирование полукаркасной структуры.

Немаловажное отличие – особенность технологии. Изготовление литого асфальтобетона (АБ) происходит при более высокой температуре асфальтной смеси. Доставка материала происходит при непрерывном перемешивании до места строительства при постоянном же подогреве. Затем материал укладывают специальными машинами. Необходимости уплотнять данную смесь нет, при охлаждении литой АБ набирает нужную прочность.

Благодаря данным особенностям производства и технологии укладки литого асфальтобетона, существенно улучшаются технические показатели конечного продукта, а именно:

- объемное водонасыщение для асфальта типа 1 и 2 равняется 1%, для прочих типов – 5, 7 и 0,5%. Асфальт воду не впитывает и способен предохранять нижележащие слои. Из этого свойства также вытекает повышенная морозоустойчивость поверхностей, выполненных из литого асфальта;
- остаточная пористость данного асфальта — 2%;
- также важнейшим показателем является долговечность. Деформируется литой асфальт меньше: при 40-градусной температуре он вдавливается на 1-6 мм;
- благодаря тому, что укладка литого АБ происходит при более высоких температурах, то большей оказывается и адгезия к нижним слоям. Это означает своего рода «спекание» с материалами нижних слоёв, вследствие этого водостойкость всей конструкции повышается;
- следующим немало важным фактором является отсутствие в литом АБ коррозии, к тому же покрытие из материала устойчиво к солям.

Объекты, которые сооружаются с использованием литого асфальта, это мосты и дороги, туннели и многое другое. Покрытие из данного материала достаточно тонкое и в зависимости от применяемой наиболее крупной фракции каменного материала и интенсивности движения может укладываться толщиной от 2,0 до 4,5 см, оно отличается длительным сроком службы, требует минимум затрат на содержание (на 60–70% меньше), легко ремонтируется. Примером этому может служить Германия, где на некоторых автобанах участки с литым асфальтобетоном функционируют до 20–30 лет!

Во многих городах литой асфальтобетон укладывают между трамвайными путями и в приграничной к ним области (1 м. с каждой стороны от путей). Благодаря отсутствию доуплотнения, можно произвести точное выравнивание высот с профилем дороги. Посыпка щебнем производится с целью увеличения трения в опасной зоне контакта шин с металлом. Промышленные покрытия без функций гидроизоляции. Материал используется на деревообрабатывающих предприятиях, в экспедиторских и отгрузочных залах, складах всех типов, на строительных рынках и в заводских помещениях текстильной промышленности. По всей Европе уложены миллионы квадратных метров литого асфальта. Так, например, запасы зерновых культур в Германии складываются именно на полах из литого асфальтобетона. Полностью шлифуемые покрытия. Более 5 лет назад в Европе был запатентован метод под названием «битутерраццо». Суть данного метода заключается в том, что монолитные покрытия из литого асфальтобетона шлифуются посуху и с добавлением влаги шлифовальным инструментом с алмазным напылением так, что возникает впечатление настоящего мозаичного пола. Изменяя каменные материалы и добавляя, например, алюминиевую крошку, можно добиться ошеломляющих эффектов. Покрытия с функцией гидроизоляции. Гидроизоляция мостов, эстакад из бетона и стали. Не будем описывать все возможные варианты систем гидроизоляции. В этих случаях литой асфальтобетон применяется как защитный слой или, другими словами, второй слой гидроизоляции, защищающий первый. Верхним слоем покрытия может быть также литой асфальтобетон.

В России же дорожная отрасль обратилась к массовому применению литого асфальтобетона только в начале 21 века. В Санкт-Петербурге с начала 2000-х годов компанией ОАО «АБЗ-1» проводилась работа по внедрению данной технологии. Применение литого асфальтобетона при строительстве и реконструкции ответственных мостовых сооружений позволило бы существенно повысить долговечность покрытий, снизить городские и федеральные затраты на ремонт, продлить сроки службы мостов. Данная работа увенчалась успехом благодаря одновременной заинтересованности и поддержке крупных подрядчиков: ОАО «АБЗ-1», ОАО «Мостоотряд 19» и проектных институтов ЗАО «Институт «Стройпротект», ЗАО «Гипротрансмост». Верхние слои покрытия из литого асфальтобетона с применением полимерно-битумного вяжущего (далее ПБВ) в соответствии с действующими нормативами продлевают срок бездефектной эксплуатации в 5 - 10 раз, а время эксплуатации данных покрытий зависит лишь от интенсивности абразивного износа и может в последствие достигать 15 - 20 лет. Так как климат России очень суров, становится крайне важным понимание государственным заказчиком необходимости применения несложных в реализации, но крайне практичных технических решений, которые в свою очередь позволяют существенно продлить сроки службы всего мостового сооружения.

В соответствии с данными Международной ассоциации литых асфальтобетонов, годовой объем производимых литых смесей составляет до 1 миллиона тонн с тенденцией на снижение объемов. Основная причина снижения – сложившаяся в Европе сеть дорог и искусственных сооружений, высокая долговечность построенных мостовых переходов, экономические причины. Представляется вероятным, что нивелирование тен-

денции на уменьшение масштабов применения литых материалов в Европе и мире смогут в ближайшем будущем компенсировать рынки Китая (вступил в IMAA в 2013 году) и России. Общий объем производства литой смеси в Российской Федерации в 2013 году достигал 90 тыс. тонн, что ставило Россию на 3-4 место в Европе по объемам ежегодного производства и применения литых асфальтобетонов. По данным IMAA наибольшее применение литые асфальтобетоны находят в Германии (350 тыс. тонн) и Франции (206 тыс. тонн). На долю Санкт-Петербурга приходится около 50% всех объемов РФ. Особенность Санкт-Петербурга в том, что практически весь выпускаемый литой асфальтобетон производят на полимерно-битумном вяжущем с повышенным содержанием полимеров термоэластопластов. За истекшие 10 лет был осуществлен существенный технологический прорыв.

В Оренбургской области данные технологии впервые были применены только в 2016 году. На участке дороги Р-240 Уфа-Оренбург был уложен поверхностный слой по технологии СлариСил (микросюрфейсинг) протяженностью 8,9 км. Данный материал представляет собой ту же технологию, что и литой асфальтобетон. Применение литого асфальтобетона позволило существенно увеличить межремонтные сроки, а это в свою очередь привело к уменьшению финансовых затрат на ремонт и увеличению сроков службы покрытия.

Благодаря тому, что первый опыт применения литых асфальтобетонных смесей оказался удачным в дорожной отрасли Оренбургской области начали применять данную технологию чаще и уже не только на федеральных трассах, но и на городских дорогах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Асфальтобетон литой: технология, применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://beton-house.com/vidy/asfaltobeton/asfaltobeton-litoj-266>. – Дата доступа: 14.10.2019.
2. Литой асфальтобетон: технология изготовления и использование. Способ приготовления литой асфальтобетонной смеси. Литой асфальт технология укладки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://eltctricon.ru/theory/litoy-asfaltobeton-tehnologiya-izgotovleniya-i-ispolzovanie-sposob/>. – Дата доступа: 14.10.2019
3. Литой асфальтобетон: особенности материала, технология изготовления и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://stroyres.net/beton/asfaltobeton/litoy.html>. – Дата доступа: 14.10.2019
4. Литой асфальтобетон: технология изготовления и использование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://iso-altair.ru/info/tehnologiya-litogo-asfaltobetona/>. – Дата доступа: 14.10.2019
5. Европейский гость [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://stroyprofi.info/archive/11419>. – Дата доступа: 15.10.2019
6. Литой асфальтобетон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1545992>. – Дата доступа: 15.10.2019
7. Краткий обзор опыта применения литых полимерасфальтобетонов на искусственных сооружениях в северо-западном регионе РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://naukovedenie.ru/PDF/29KO514.pdf>. – Дата доступа: 15.10.2019.



УДК 691

## ВОЗМОЖНОСТИ ВАРИАНТОВ ДЕКИНГА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

**А.А. Макаева, Е.В. Марсакова**

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация  
e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*Описаны основные виды декинга (из массивной доски и древесно-полимерного композита), процесс их изготовления. Выявлены достоинства и недостатки необработанного декинга, описаны способы улучшения свойств доски из массивной древесины путем импрегнации и термической обработки. Рассмотрены конкурентные преимущества древесно-полимерного композита. Обозначена перспективность производства декинга в Оренбургской области.*

**Ключевые слова:** декинг, массивная доска, импрегнация, термическая обработка, термодоска, древесно-полимерный композит, древесная мука, полимер, модификаторы.

## POSSIBLE OPTIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE DECKING PRODUCTION PROCESS

**A. Makaeva, E. Marsakova**

Orenburg State University, Russian Federation  
e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*This article describes the main types of decking (solid wood and wood-polymer composite), the process of their manufacture. The advantages and disadvantages of untreated decking are revealed, the ways of improving the properties of solid wood boards by impregnation and heat treatment are described. Competitive advantages of wood-polymer composite are considered. The perspective of the direction of decking production in the Orenburg region is indicated.*

**Keywords:** decking, solid wood, impregnation, heat treatment, thermal strip, wood-polymer composite, wood flour, polymer, modifiers.

К современным строительным материалам предъявляются все более высокие требования – сочетание экологичности и эстетичности, наряду с высокими показателями прочностных и эксплуатационных характеристик. Данному условию отвечает декинг (англ. «decking» — деревянное покрытие), представляющий собой настил в виде деревянных планок, уложенных вплотную друг к другу. Отделочный материал используется как для монтажа напольного покрытия, так и для устройства веранд, террас, зон отдыха и бассейнов. Декинг классифицируется по виду и способу обработки используемого сырья. В зависимости от сырья различают массивную натуральную доску и древесно-полимерный композит.

Доска из массива – природный, экологически безопасный материал, механически обработанный из сорта древесины, стойкого к климатическим перепадам, износу, сколам. Декинг изготавливается из лиственницы, дуба, секвойи, доступных в ценовой категории, и экзотичных пород древесины, таких как тик, бамбук, мербау, азобе. Такая доска обладает высокими теплоизоляционными показателями, не выделяет в воздух токсичных веществ при нагревании, в результате чего террасную доску из массивной древесины используют не только в качестве полового настила, но и для отделки фасада и банного интерьера.

К недостаткам необработанного декинга относятся уязвимость к воздействию окружающей среды, постоянный профессиональный уход и высокая себестоимость.

Преждевременное разрушение натуральной древесины от механических воздействий и биологической коррозии предотвращается двумя способами: импрегнацией и термической обработкой.

Первая технология подразумевает пропитку дерева фунгицидными веществами под действием вакуума. Обработка не является бесцветной, ввиду чего древесина приобретает неестественный оттенок. Однако, импрегнация позволяет удалить все споры грибков и обеспечивает срок эксплуатации без дальнейшей обработки материала 15 - 20 лет.

Дополнительно подверженный термообработке декинг (ТМД) позволяет эксплуатировать доску в экстремальных условиях. Под воздействием высоких температур (до 200°C) в автоклавах и в процессе закаливания волокна целлюлозы сжимаются, увеличивается плотность внешних слоев, испаряется излишняя влага. В такой среде доски выдерживают почти сутки, затем продукция медленно охлаждается. На выходе термодоска содержит оптимальные 6 – 7 % влаги. В результате материал обладает устойчивостью к перепадам влажности и температуры, возрастают прочностные характеристики. Кроме прочего, террасная доска приобретает благородный оттенок, температура изменяет тон древесины, делая волокна отчетливыми и яркими. Кроме того, в результате термообработки возрастает срок службы доски.

Безусловным лидером в сегменте декинга является древесно-полимерный композит (ДПК) – материал, совмещающий в себе свойства обоих составляющих: древесной муки в качестве органического наполнителя и полимерного вяжущего.

В композитах с относительно низким содержанием древесного наполнителя показатели обоснованы свойствами связующего, в качестве которого применяются термопластичные полимеры (преимущественно полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП) и поливинилхлорид (ПВХ)).

Полиэтилен синтезируется путем полимеризации этилена, обладает достаточной текучестью и эластичностью, наряду с высокой прочностью при изгибе и растяжении. ПЭ является безопасным для организма человека, легко обрабатывается. Синтезируемый при высоком давлении полиэтилен (ПЭВД) стоек к агрессивным средам, стабилен в различных температурно-влажностных условиях, обладает высокой стойкостью к растрескиванию и гибкостью при низких температурах. Полиэтилен низкого давления (ПЭНД) стоек к растворителям, кислотам и щелочам, имеет высокие прочностные показатели: теплостойкость, жесткость и твердость, противостоит влиянию высоких температур, химическим и радиационным воздействиям.

ПП – продукт полимеризации пропилена – обладает высокой ударной прочностью, твердостью и стойкостью к многократным изгибам, имеет хорошую износостойкость и большой модуль упругости. Однако, он чувствителен к свету, имеет низкую морозостойчивость и жесток, что усложняет использование крепежей при монтаже.

ПВХ – термопластичный полимер винилхлорида – устойчив к воздействию влаги, основных кислот, растворов солей и промышленных газов. Полимер трудно воспламеняется, устойчив к химическим и атмосферным воздействиям. Поливинилхлорид неблагоприятен для окружающей среды, кроме того, производство изделий на основе ПВХ усложняется переработкой композита ввиду высокой вязкости расплава и температуры перехода ПВХ в текучее состояние, близкой к значению температуры термического разложения древесины.

Древесная мука – порошкообразная древесина, полученная в результате измельчения отходов деревообрабатывающей промышленности, является наиболее выгодным наполнителем для изделий из древесно-полимерных композитных материалов, что обусловлено ее низкой стоимостью, достаточными запасами (в РФ ежегодно образуется порядка 850 тыс. куб. м. древесных отходов), доступностью, легкостью помола, высокой дисперсностью. Наиболее оптимальное содержание древесной муки в композите порядка 50%. Если древесной муки в композите менее 40%, доска теряет декоративность дерева.

Для придания материалу технологических свойств состав древесно-полимерных композитов вводят специальные добавки – модификаторы.

Развитию микроорганизмов и грибков на поверхности и внутри композита противодействуют антимикробные агенты – биоциды (соединения бора, оксибисфеноарсин, изотиазолин).

Минеральные наполнители (мел, тальк) увеличивают плотность, жесткость и адгезию, улучшают дугостойкость доски, уменьшают коробление ввиду уменьшения анизотропии усадки.

Антипирены (тригидрат алюминия, оксид сурьмы, гидроксид магния) обеспечивают огнезащитный эффект изделий.

Применение адгезионного агента позволяет эффективно совмещать наполнитель и полимерную матрицу, положительно влияет на прочность при изгибе, жесткость, модуль упругости и эластичность изделия, снижает влагопоглощение и набухание древесных волокон, предотвращает образование трещин.

Антиоксиданты обеспечивают долгосрочную термостойкость во время хранения и использования готового изделия.

Основным недостатком данного вида decking является неустойчивость к ультрафиолетовому излучению, который устраняется введением светостабилизаторов, повышающих стойкость к старению и долговременному сопротивлению воздействия тепла и света.

Материал имеет широкий цветовой спектр (от неестественных оттенков до фактур, имитирующих древесные породы), для реализации которого необходимы красящие вещества: пигменты – тонкодисперсные порошки, нерастворимые в красильной среде, и красители, легко вступающие в различные реакции. Для окрашивания ДПК-продукции преимущественно применяют пигменты, обладающие большей физико-химической стойкостью.

Лубриканты для ДПК (внутренние смазки) увеличивают скорость экструзии древесно-полимерного композита и улучшают качество.

Каждая составляющая композита корректирует состав смеси и определенное свойство, но необходимо учитывать тот факт, что при производстве доски следует акцентировать внимание на приоритетных показателях, обусловленных областью их применения, так как использование различных аддитивов не дает возможности придать изделию всех качественных свойств.

Технология производства доски ДПК включает в себя следующие этапы: измельчение древесного сырья, сушка, смешивание компонентов, прессование, грануляция, формовка.

Уменьшение размера частиц исходного наполнителя упрощает работу пресса гранулятора. Помимо этого, тонкий помол увеличивает поверхности взаимодействия с полимерной матрицей. После измельчения опилки поступают в бункер совместно с сухой стружкой, затем сушатся во взвешенном состоянии до 5-8 % влажности и диффундируют в высокоскоростных смесителях с дозированной и гомогенизированной смесью из полимера и специальных добавок. Данная смесь поступает через бункер в экструдер, в процессе плавления смешиваясь с мукой, доставляется по каналам в гранулятор, где ножи отрезают заданный размер гранулы. Данный способ носит название экструзии с предварительным компаундированием.

Прямая экструзия отличается зоной пластификации - предварительного плавления полимера. Таким образом, расплав поступает в экструдер, а древесная мука подается в расплавленный полимер через изолированное отверстие. При таком способе сокращается время пребывания древесины в экструдере, что защищает ее от термодеструкции.

Древесно-полимерный композит подразделяется на два типа, имеющие одинаковые технические характеристики: шлифованный и нешлифованный. Существенная разница заключается в том, шлифовка снижает коэффициент скольжения поверхности, в то же время нарушается целостность полимерного слоя, и незащищенная древесина под воздействием окружающей среды разрушается.

ДПК сочетает в себе лучшие свойства древесины. Доски из ДПК являются экологически чистыми, но в то же время обладают атмосферной, механической и химической устойчивостью. Срок службы террасной доски из древесно-полимерных композитов составляет около 50 лет, ДПК не требует постоянного ухода. В отличие от изделий из массивного декинга, материал отлично переносит влажность и температурные колебания, поэтому широко применяется как для внутренней отделки помещений с повышенной влажностью (ванные комнаты, сауны, бани), так и для наружных работ. Композитный декинг не подвержен горению, устойчив к высоким механическим нагрузкам и биологическим повреждениям. Высокая стоимость изделия оправдана долговечностью материала, легкостью и простотой монтажа, ненужностью специального ухода. Кроме того, доску из ДПК можно демонтировать и использовать неоднократно, что неприемлемо для обычной доски.

Из всего вышеизложенного следует вывод, что использование дорогостоящей террасной доски из ДПК вполне оправданно, даже учитывая ее высокую стоимость, так как преимущества древесно-полимерного композита очевидны.

Современный рынок предлагает широкий спектр строительных материалов, отвечающих всем требованиям потребителя. Хорошим выбором может стать именно ДПК

за счет улучшенного комплекса свойств. Данный декинг имеет гладкую поверхность и однородную структуру без дефектов, присущих натуральной древесине (сучки, косо-слой, гниль), обладает устойчивостью к воздействию микроорганизмов и насекомых, наряду с экологичностью и безопасностью для здоровья человека. Поэтому он пользуется стабильным спросом у потребителей.

Производство древесно-полимерных композитов является рентабельным направлением в Оренбургской области: востребованность обуславливается масштабным применением древесных материалов и изделий, в то же время предприятия, выпускающие декинг, не достаточно насыщают рынок продукцией. Стабильный рост реализации ДПК-продукции обуславливается стойкостью изделий к атмосферным воздействиям окружающей среды и перепадам температуры, свойственным для резкоконтинентального климата, эстетичностью и экологичностью. Кроме того, использование древесной муки в качестве наполнителя позволяет облегчить транспортировку сырья, в отличие от массивной древесины. Для конкурентоспособности выпускаемой продукции требуется создавать качественные изделия с высокими эксплуатационными показателями и ценами, доступными для потребителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. DeckWood: Террасная доска из древесно-полимерного композита //Декинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://deck-wood.ru/статьи-о-дпк/item/43-декинг>
2. Каширский, А. Декинг — террасная доска: анализ характеристик, достоинства и недостатки, особенности использования // HomeMyHome. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://homemyhome.ru/deking-terrasnaya-doska.html>. – Дата доступа: 25.10.2019.
3. Бурнашев, А.И. Высоконаполненные поливинилхлоридные строительные материалы на основе наномодифицированной древесной муки : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / А.И. Бурнашев. – Казань, 2011. – 159 с.
4. Файзуллин, И. З. Древесно-полимерные композиционные материалы на основе полипропилена и модифицированного древесного наполнителя : дисс. ... канд. техн. наук : 05.17.06 / И.З. Файзуллин. – Казань, 2015. – 123 с.
5. Влияние размера частиц наполнителя на свойства древесно – полимерных композитов/ И.З. Файзуллин, И.Н. Мусин, С.И. Вольфсон // Вестник казанского технологического университета. – 2013. – Т.16. – № 5. – С. 103-106.
6. Абушенко, А.В. О добавках и рецептурах ДПК // DPK-DECK: Производство и продажа древесно-полимерного композита. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dpk-deck.ru/page/recepturi.html>. – Дата доступа: 20.10.2019.
7. Галиев, И.М. Создание многослойного напольного настила на основе древесно-полимерных композитов ;дисс. канд. техн. наук : 05.21.05 / И.М. Галиев. – Казань, 2015. – 117 с.
8. Марсакова, Е.В. Современные древесно-полимерные композиты // Научное сообщество студентов: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: сб. ст. по мат. LXX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11(70). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:[https://sibac.info/archive/meghdis/11\(70\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/11(70).pdf). – Дата доступа: 15.10.2019.
9. Композитная доска для настилов террас // «Кублеса» — магазин элитной древесины. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kublesa.ru/kompozitnaya-doska-dlya-terras/>. – Дата доступа: 25.10.2019.

УДК 691

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ ТРУБ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**А.А. Макаева, С.Д. Болдинова**

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: alla\_ish@mail.ru

*Представлен сравнительный анализ возможности использования гофрированных водопропускных сооружений в мире, России и Оренбургской области. Рассмотрены проблемы применения таких труб и возможные варианты их решения.*

**Ключевые слова:** автомобильные дороги; водопропускные сооружения; металлические гофрированные трубы.

## THE USE OF CORRUGATED METAL PIPES IN ROAD CONSTRUCTION

**A. Makaeva, S. Boldinova**

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: alla\_ish@mail.ru

*A comparative analysis of the possibility of using corrugated culverts in the world, Russia and the Orenburg region is presented. The problems of using such pipes and possible solutions are considered.*

**Keywords:** automobile roads; culverts; corrugated metal pipes.

Процесс проектирования автомобильных дорог представляет собой комплекс мероприятий, направленных на получение рационального варианта дороги, который в дальнейшем будет реализован. На этапе проектирования, если это необходимо, следует предусматривать использование инженерных сооружений, которые представляют собой – земляное полотно, дорожная одежда, путепроводы, тоннели, подпорные стенки, водоотводные и водопропускные сооружения. Чаще всего возникает потребность применения труб. По статистике на один километр дороги приходится примерно 1,2 трубы. Водопропускные трубы классифицируются:

1. по форме поперечного сечения – в виде круга, прямоугольника и овоидальные;
2. по числу очков в сечении – одноочковые, двухочковые, многоочковые;
3. по уровням – одноуровневые, многоуровневые;
4. по условиям гидравлической работы – равнинные, косогорные;
5. по влиянию длины трубы на пропускную способность – «короткие» в гидравлическом отношении, «длинные» в гидравлическом отношении;
6. по работе поперечного сечения – безнапорные, напорные, полунапорные;
7. по материалу – бетонные, железобетонные, металлические, полимерные;
8. по шероховатости внутренней поверхности- гладкие, гофрированные.

Современным вариантом труб являются такие, которые выполнены из металлических гофрированных структур. Подобный профиль позволяет иметь преимущества, которые выделяют их среди конкурентов. Благодаря тому, что они имеют небольшой вес и их можно компактно уложить, транспортировка и монтаж труб требуют меньших затрат труда, времени и механизмов. Они обладают высоким сопротивлением к разрушению от размыва водой. Ремонтировать сооружения относительно не трудно, замена изношенных элементов возможна без вскрышных земляных работ. Они пожаробезопасны, сейсмоустойчивы. При правильном соблюдении всех технологий трубы из гофры могут прослужить более 80 лет. И при всех вышеперечисленных плюсах гофрированные водопропускные трубы имеют меньшую стоимость по сравнению с другими трубами при равных диаметрах.

Несмотря на то, что данная технология является актуальной и современной предложена она достаточно давно. Впервые гофрированные водопропускные трубы появились в России еще в 1875 году. Их изготовление осуществлялось на Петербургском металлургическом заводе как альтернатива системам, изготавливаемым из дерева. Были проведены исследования поведения конструкции под нагрузкой, которые оказались вполне успешны. Трубы планировали применять при строительстве Ряжско-Вяземской железной дороги, но технико-инспекторским комитетом министерства путей сообщения было запрещено их использование. Поэтому впервые применены гофротрубы на крупном объекте лишь в 1887 году на Закаспийской железной дороге, которая строилась под руководством военного министерства, независимого от министерства путей сообщения. В 1896 году инженерным советом было разрешено использование гофрированных водопропускных труб, но с некоторыми ограничениями:

1. нагрузка от транспорта не должна оказывать влияние на трубу;
2. режим протекания воды в трубе разрешается только безнапорный;
3. диаметр труб должен быть не более 1,07 м. Исключениями являются трубы, укладываемые под насыпями высотой от 1,07 м. до 6,4 м. над верхней частью трубы, но их разрешается строить только под дорогами с небольшой интенсивностью движения.

В 1913 году провели обследования гофрированных водопропускных труб, и результаты подтвердили возможность их практического применения. Средний срок службы труб – 14 лет. Деформации в трубах в основном следующие:

1. разрушения по ее сечению;
2. повреждения вследствие неравномерных осадок;
3. нарушения из-за коррозий различных типов.

С 1914 года по причине войн и революций гофрированные водопропускные трубы перестали применяться и только более чем через 50 лет их начали использовать при строительстве Байкало-Амурской магистрали, которое проводилось в ускоренном режиме, что не позволяло достаточно качественно выполнить работы и это привело к большому количеству разрушений и деформаций труб. После такого неудачного опыта применение труб из гофрированного металла в строительстве многих объектов было запрещено.

За рубежом впервые был получен патент на гофрированные водопропускные трубы в 1886 году в США, использованы в строительстве они были в 1896 году. Позже технология появилась в Японии, Канаде, странах Африки.

В Оренбургской области впервые широкое использование гофрированных водопропускных труб было применено в 1901 году в период строительства железной дороги Оренбург-Ташкент. Основные водопропускные системы имели диаметр от 64 до 117 см. Опыт применения оказался негативным, вследствие причин:

1. неправильная технология монтажа;
2. ошибки в конструкции трубы – неподходящее сечение волн.

Хотя первые попытки применения гофрированных металлических труб и были не всегда удачными, результаты позволяли накопить опыт, который позволил выявить ряд проблем, возникающих во время эксплуатации труб. Согласно данным мониторинга состояния труб построенных в различные годы и при разнообразных условиях можно сделать вывод, что разрушение металла зависит от следующих факторов:

1. кислотно-щелочной баланс воды и грунта;
2. сопротивляемости грунта электричеству;
3. степень уплотнения грунта;
4. количество и скорость наносов;
5. количество хлоридов и сульфатов в составе воды и грунта;
6. уклона трубы;
7. материала и конструкции трубы;
8. скорости воды;
9. от вида и наличия защитного покрытия.

Самая распространенная проблема гофротруб – это их абразивно-коррозионное разрушение. Для борьбы с данной проблемой существует несколько способов:

1. использование защиты в виде покрытия поверхности трубы антикоррозийными средствами на основе цинка, алюминия, полимеров, битумов;
2. укладка гравия, камня, габионных структур на дно трубы;
3. устройство гладкого бетонного или асфальтобетонного лотка – наиболее эффективный способ.

В последние годы популярность гофрированных металлических труб значительно возросла. 17 июня 2002 года Министерством транспорта РФ выпущено распоряжение, которое рекомендует при строительстве и реконструкции дорог Сибири и Дальнего Востока использовать гофрированные водопропускные системы. Предлагается огромное количество различных конструктивных решений труб из гофрированного металла. Российские компании сотрудничают с зарубежными, благодаря чему в инженерных решениях появились гофры 68x13 мм., 75x25 мм., 125x25 мм., 152x51 мм. Расширилась вариативность форм поперечного сечения (Рисунок 1). Но так как статистических данных по использованию труб с нестандартным сечением недостаточно, предпочтение отдается круглой трубе.

В Оренбургской области используют трубы из гофрированного металла. Например, при реконструкции дороги Бугуруслан-Абдулино в 2015 году было установлено 16 труб из гофрированного металла. Для защиты была предусмотрена антикоррозийная обработка и гладкий бетонный лоток с углом охвата 120°.



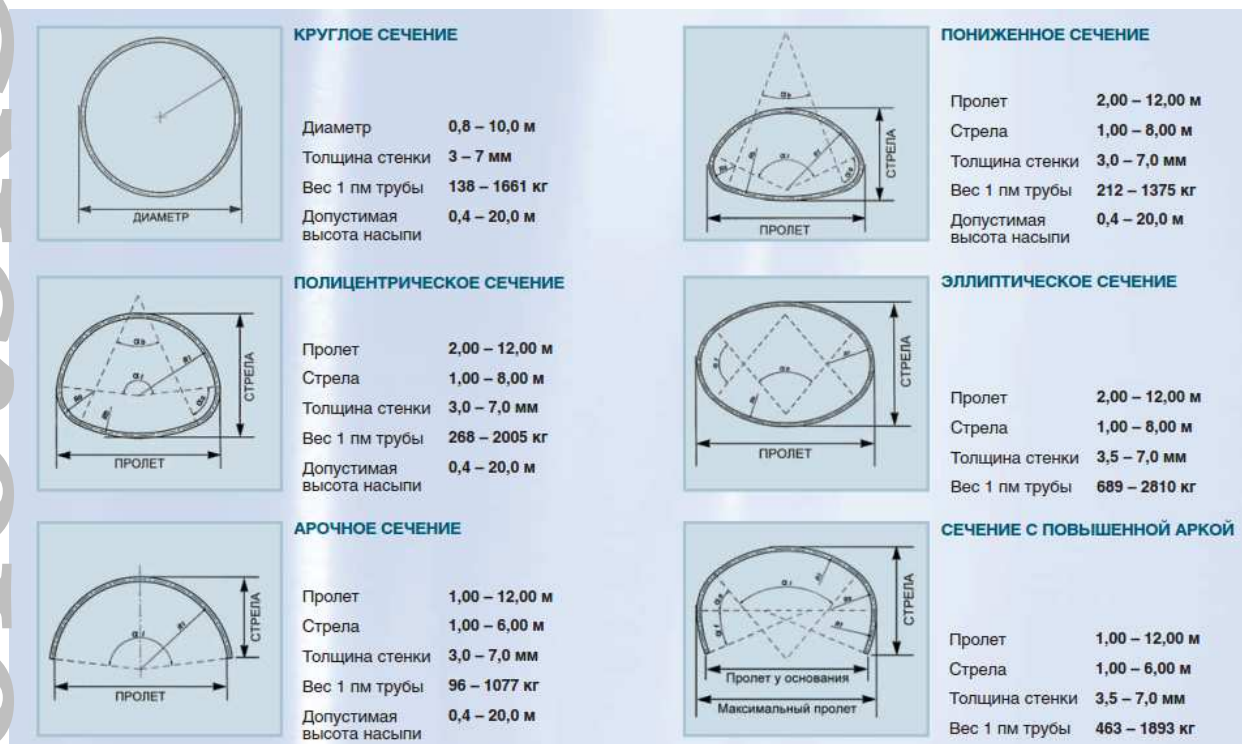


Рисунок 1. – Различные виды сечений металлических гофрированных структур

Проанализировав все вышесказанное можно сделать выводы о том, что металлические гофрированные трубы являются перспективным решением при проектировании и строительстве автомобильных дорог, но необходимо соблюдать ряд технических требований, обеспечивающих их сохранность. Несмотря на явные достоинства таких труб их применение все же ограничено по причинам недостатка нормативных документов, и корректных расчетов, учитывающих все аспекты их гидравлической работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Водопропускные трубы под насыпями / Под ред. О.А. Янковского [Электронный ресурс]. – М.: Транспорт, 1982. – 232 с. – Режим доступа: URL <https://elima.ru/books/?id=3773>. – Дата доступа: 24.10.2019
2. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон): ОДМ 218.2.001-2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://docs.cntd.ru/document/1200074825> . – Дата доступа: 25.10.2019
3. Методические рекомендации по проведению гидравлических расчетов малых ИССО на автомобильных дорогах: ОДМ 218.2.082-2017. [Электронный ресурс]. – URL <http://docs.cntd.ru/document/456059808>. – Дата доступа: 25.10.2019.
4. Герцог, А. А. Гофрированные трубы на автомобильных дорогах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – URL <https://www.gofrostal.ru/production/dokumentatsiya/>. – Дата доступа: 25.10.2019.

5. Казаркина, В.И. Организация нормативного обеспечения применения на транспортных коммуникациях водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур: дис. ... канд. техн. наук в форме научного доклада: 05.02.22 / В.И. Казаркина. – М., ОАО ЦНИИС, 2008. – 64 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://tekhnosfera.com/organizatsiya-normativnogo-obespecheniya-primeneniya-na-transportnyh-kommunikatsiyah-vodopropusknyh-sooruzheniy-iz-gofrir>. – Дата доступа: 25.10.2019.
6. Лисов, В. М. Дорожные водопропускные трубы / В.М. Лисов. – М.: Информ.-изд. Центр «ТИМР», 1998. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL [https://www.studmed.ru/lisov-vm-dorozhnye-vodopropusknye-truby\\_e33764abf30.html](https://www.studmed.ru/lisov-vm-dorozhnye-vodopropusknye-truby_e33764abf30.html). – Дата доступа: 26.10.2019.
7. Алтунин, В.И. Водопропускные трубы в транспортном строительстве. Гидравлическая работа труб из металлических гофрированных структур / В.И. Алтунин, О.Н. Черных, М.В. Федотов. – М.: МАДИ, 2012. – 240 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=20433870>. – Дата доступа: 26.10.2019.

УДК 691

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*С.А. Дергунов, Д.С. Махина, К.В. Юкова, С.А. Орехов*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru, dasha15\_96@mail.ru

*В статье рассмотрены основные проблемы ресурсосбережения при производстве строительных материалов. Наряду с этим, выделена не менее важная проблема, связанная с утилизацией вторичного сырья. В связи с этим, рассматривается альтернатива использования производственных отходов, выделены основные перспективы их использования. Также приведены примеры использования вторсырья для производства строительных материалов, благодаря чему повысится уровень экономии природных ресурсов, а сохранение экологии окружающей среды будет удовлетворять допустимым показателям.*

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, шлаковые отходы, экология, утилизация, строительство.

## THE POTENTIAL IMPLEMENTATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

*S. Dergunov, D. Mahina, K. Yukova, S. Orekhov*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru, dasha15\_96@mail.ru

*The article discusses the main problems of resource saving in the construction materials production. At the same time, an equally important problem related to recycling of secondary raw materials has been identified. In this regard, the alternative of industrial waste using is considered. The main prospects for its use are highlighted. Examples of recycled materials using for the construction materials production are also given. It allows to increasing the level of natural resources saving. The preservation of environmental ecology will also meet the permissible indicators.*

**Keywords:** Resource saving, slag waste, ecology, recycling, construction.

Современные темпы развития строительства предполагают использование больших объемов природного сырья. Ежегодно из недр земли извлекают необходимые и, зачастую, невозполнимые ресурсы, что становится масштабной мировой проблемой. Наряду с этим, в России существует не менее глобальная проблема, связанная с утилизацией промышленных отходов. На территориях многих предприятий количество таких отходов далеко превышает предельно допустимые значения, а их утилизация не соответствует экологическим нормам и требованиям.

Техногенные массивы создают вокруг себя некие зоны поражения, которые превышают по площади размеры самих предприятий. Для их хранения и предотвращения негативного воздействия на окружающую среду необходимы огромные вложения.

Именно поэтому, в настоящее время актуален вопрос развития ресурсосберегающих технологий на основе эффективного использования производственных отходов, что позволит решить вышеперечисленные проблемы.

Использование вторичного сырья играет значительную роль в поддержании экологически безопасного уровня воздействия на окружающую среду, а также выступает необходимым условием реализации безотходных или малоотходных технологий.

В строительстве и промышленности использование вторичных сырьевых ресурсов наряду с природными играет важнейшую роль. Однако, при отсутствии необходимого природного сырья, приходится тратить большие деньги на его транспортировку из наиболее удаленных регионов, что нецелесообразно как с экологической, так и экономической сторон.

При использовании техногенного сырья в производстве была отмечена его дешевизна в сравнении с природным аналогом.

Вследствие этого, можно выделить следующие экологические перспективы использования вторичного сырья:

- сокращение потребности в добыче необходимого природного сырья;
- повышенные темпы утилизации загрязняющих отходов;
- увеличение количества свободных земель, изначально использовавшихся в качестве места хранения вторичного сырья.

Использование технологических отходов в производстве строительных материалов существенно повышает их прочностные и деформационные характеристики, а также снижает техногенное влияние на окружающую среду. Рассмотрим примеры использования отходов предприятий.

Сегодня в строительной сфере широким спросом пользуются золы и золошлаковые отходы (ЗШО), количество которых ежегодно исчисляется миллионами тонн. В России на утилизацию отправляется всего 5% от их общего количества.

Таким образом, данный вид отходов может быть использован при строительстве дорог, производстве строительных материалов на основе бетона и порошков в асфальтобетонах. В тяжелых бетонах применение данного вида отходов обеспечивает повышение качества и улучшение строительно – технических свойств готовой продукции. Более того, такой вид отходов является цементосберегающим, экономя до 30% цемента и более половины природных заполнителей. При помощи золошлаковых отходов можно улучшить структуру цементного теста и повысить теплозащитные свойства конструкций.

В ходе опытных исследований была выявлена возможность изготовления бесцементного газобетона на основе зол ТЭС.

Одним из наиболее золоемких направлений в строительстве является производство керамических кирпичей и блоков. Изготовление подобных кирпичей из золы ТЭС не требует транспортировки сырья и разработки глиняных карьеров.

Горелые шахтные отходы менее востребованы в данном вопросе, однако в тонкомолотом виде их также можно добавлять в цементную смесь. На заполнителях из горелых пород в Экибастузе был организован серийный выпуск крупных и мелких

блоков для строительства одноэтажных жилых, общественных и производственных зданий.

Еще одной немаловажной составляющей ресурсосберегающих технологий являются металлургические шлаки. На их основе производят шлакопортландцемент, гипсошлаковые блоки и многое другое. Как и золошлаковые отходы, металлургические шлаки остаются в огромных количествах и достигают десятков миллионов тонн.

На сегодняшний день не менее популярны минерально-щелочные вяжущие, полученные в результате переработки таких горных пород, как гранит, базальт, диабаз и др. Эти отходы наиболее стабильны с точки зрения состава, именно поэтому на их основе также зачастую производят портландцемент. Однако есть и весомый минус – неравномерность расположения данных отходов по стране, что не всегда экономит затраты на транспортировку.

При производстве автоклавных материалов рационально использование шлаков, получаемых при выплавке коуглеродистого феррохрома, а заполнителями огнеупорного бетона могут служить отходы ферросплавного производства.

Применение описанного и подобного вторсырья дает возможность экономить такие природные ресурсы, как песок, глину, щебень, клинкерный цемент и прочее. Так, например, значительной экономии позволяет достичь использование гранулированных шлаков в качестве заполнителей бетона за счет исключения природных аналогов.

На сегодняшний день разработана технология переработки гранулированных шлаков в мелкий заполнитель. Опыты показывают, что основные прочностные характеристики, а также морозостойкость удовлетворяют требованиям нормативных документов и могут конкурировать на рынке с такими же материалами, изготовленными на основе природного сырья.

В России уже долгое время применяется технология изготовления содопродуктов и цемента на основе использования нефелинов. Помимо этого, нефелиновый шлак может применяться при изготовлении таких строительных изделий, как кирпичи, плиты, блоки, в качестве подстилающего слоя в дорожном строительстве.

Огромную популярность набирает производство тяжелого бетона, в связи с необходимостью реконструкции объектов, связанных с ядерным топливом. Таким образом, вместо дорогостоящего металла снова можно прибегнуть к применению производственных отходов.

То же касается вторсырья с деревообрабатывающих предприятий. Большое количество земель ежегодно занимают десятки тысяч древесных отходов, многие из которых просто сжигают, несмотря на их целесообразное применение при производстве древесных бетонов.

На сегодняшний день в дорожном строительстве имеется опыт ресурсосберегающих технологий на основе золошлаковых отходов и горелых шахтных дорог. В результате многочисленных опытов подтверждена возможность их использования в дорожных слоях при различных климатических условиях. Это еще раз доказывает, что техногенные отходы могут использоваться в качестве материалов с высокими потребительскими ресурсами.

Все сказанное позволяет сделать вывод, что в нашей стране присутствует огромное количество производственных отходов, которое используется не в полной мере, что говорит о низком уровне ресурсосберегающих технологий.

Напротив, во многих странах Европы подобное производство налажено и работает как часы. Например, в Швеции, по последним данным, закончился мусор (здесь предполагается не только бытовой, но и производственный). Изначально там также столкнулись с необходимостью избавления от огромного количества вторичных материалов. На сегодняшний день благодаря новейшим технологиям, при сносе дома в Швеции, его части отвозят на производство, где дают им новую «жизнь».

В Нидерландах же развили систему безотходного производства, что позволяет использовать одни и те же материала многократно.

Данные примеры говорят о высоком технологическом развитии, направленном на решение конкретной проблемы. Именно поэтому необходимо разрабатывать новые технологии, которые позволили бы внедрить безотходное производство, не нарушая при этом экологических требований. То есть, используемое технологическое сырье не должно содержать радиоактивных изотопов, а также тяжелых металлов и иных веществ, как-либо влияющих на здоровье человека и окружающую среду.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шутенко, Е.Е. Проблемы ресурсосбережения в современном строительном комплексе // Современные наукоемкие технологии (приложение к журналу). 2008. – № 2. – С. 71–73.
2. Буравчук, Н.И. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL file:///C:/Users/User/Downloads/buravchuk-ni-resursosberezhenie-v-tehnologii-stroitelnyh-materialov\_2aac3cd00db.pdf. – Дата доступа: 27.10.2019.
3. Аксенова, Л. Л., Хлебенских, Л. В. Использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной индустрии [Электронный ресурс] // Технические науки в России и за рубежом: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Москва, июль 2014 г.). – М.: Буки-Веди, 2014. – С. 106-108. – Режим доступа: URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/90/5669/>. – Дата доступа: 27.10.2019.
4. Бессонов, А.С. Технологии ресурсосбережения в строительстве и их применение на современном этапе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://web.snauka.ru/issues/2017/02/78083>. – Дата доступа: 27.10.2019.
5. Савон, Д.Ю., Абрамова, М.А. Применение инновационных методов ресурсосбережения при переработке и утилизации отходов в производственной сфере [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL file:///C:/Users/User/Downloads/primenenie-innovatsionnyh-metodov-resursosberezheniya-pri-pererabotke-i-utilizatsii-othodov-v-proizvodstvennoy-sfere.pdf. – Дата доступа: 26.10.2019.
6. Ерошкина, Н.А. Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов на основе минерально-щелочных и геопалимерных вяжущих: учеб. пособие / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин. – Пенза : ПГУАС, 2013. – 156 с.
7. Современные строительные технологии: монография / под ред. С.Г. Головнева. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 268 с.
8. В Швеции закончился мусор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://mg.od.ua/blog/v-shvecii-zakonchilsya-musor>. – Дата доступа: 27.10.2019.

УДК 625.84

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЦЕМЕНТНО-БЕТОННЫХ ДОРОГ

*С. А. Дергунов, Н. Н. Якунин, А. Б. Сатюков, А. Ю. Спирина*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*Динамическое развитие горно-перерабатывающих, энергетических и металлургических комплексов сконцентрировало в отдельных районах Оренбургской области многотоннажные техногенные отходы. Накопленная вторичная сырьевая база располагает к ее активному внедрению в практику строительства. Использование минеральных отходов в дорожной инфраструктуре – важнейший критерий ресурсо- и энергосбережения отрасли. Массовое вовлечение вторичного сырья в строительство долговечных дорог является экономически обоснованным фактором во многих странах мира. Основой этого успеха является разработка и внедрение многофункциональных долговечных дорожных материалов.*

*Ключевые слова: дорожная инфраструктура, ресурсосбережение, минеральные отходы, бетонные дороги.*

## FUNCTIONAL MATERIALS FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF CEMENT-CONCRETE ROADS

*S. Dergunov, N. Yakunin, A. Satukov, A. Spirina*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*The dynamic development of mining-processing, energy and metallurgical complexes concentrated the large-tonnage technogenic wastes in certain areas of the Orenburg region. The secondary raw material base which was accumulated has an active introduction into construction practice. Using of mineral waste in road infrastructure is the most important industry's criterion of resource and energy saving. The mass secondary raw materials involvement in the construction of durable roads is an economically viable factor in many countries of the world. The basis of this success is the development and introduction of multifunctional durable road materials.*

**Keywords:** *road infrastructure, resource saving, mineral waste, concrete roads*

Транспортная инфраструктура представляет собой совокупность всех видов транспорта и транспортных структур, деятельность которых направлена на создание благоприятных условий функционирования большинства отраслей экономики, т.е. совокупность материально-технических систем транспорта, предназначенных для

обеспечения экономической и неэкономической деятельности человека. Это самый фондоемкий и инерционный сектор экономики, вследствие чего проблемы транспортного обеспечения постоянно в центре внимания. Начиная со времен Древнего Рима, когда были заложены основы дорожного законодательства. Далее в периоды индустриальных перестроек, когда практиковался глобальный охват и динамичное строительство дорог различного назначения. И на перспективу, где мы уже стремимся придать дороге фрагменты «искусственного разума».

Для осознания важности здоровой транспортной инфраструктуры достаточно взглянуть на статистические данные. В таблице 1 отражены лидирующие государства по протяженности сети автомобильных дорог. Россия не занимает лидирующей позиции, но это не говорит о ее уязвимости транспортного сообщения, а наоборот располагает к дальнейшему динамичному развитию сети автомобильных дорог, т.е. в свете дорожного строительства есть куда стремиться.

Таблица 1. – Перечень государств по длине сети автомобильных дорог (автомобильные дороги с твёрдым покрытием и оформленные грунтовые)

№	Государство	Дороги (км)	Магистралы (км)	Год
	Мир	64285000	н/д	2013
1	 США	6586610	77017	2017
2	 Индия	4699024	1324	2015
3	 КНР	4577300	131000	2015
4	 Бразилия	1580964		2010
5	 Россия	1452200	866	2017
6	 Япония	1218772	8428	2015
7	 Франция	1050613	11882	2015
8	 Канада	1042300	17000	2011
9	 Австралия	823217		2011
10	 ОАЭ	747014	239	2002
11	 Испания	683175	16205	2011
12	 Германия	645000	12996	2010/2017
13	 Индонезия	496607		2011
14	 Польша	419636	1559	2015
15	 Великобритания	417491	3768	2015
16	 Мексика	377660	7176	2012
17	 Пакистан	263942	708	2014
18	 Италия	248846	6844	2014
19	 Турция	236617	2159	2015
20	 Аргентина	231374	734	2004
21	 Саудовская Аравия	221372	3891	2006
22	 Филиппины	216387		2014
23	 Швеция	212972	2119	2009/2015
24	 Венгрия	202997	1884	2015
25	 Вьетнам	195468		2013



Расстояние почти в 65 млн. километров в мировом масштабе сопоставимо с 1604-я оборотами вокруг Земли, 83-х кратным расстоянием до Луны и обратно или почти половина пути до Солнца, т.е. практически 0,44 астрономические единицы.

Обозначенные масштабы лишней раз подчеркивают важность и повсеместность вопросов дорожного строительства.

Развитие дорожной отрасли последних лет в России ознаменовано модернизацией ряда направлений:

- Полное переосмысление нормативной документации (ГОСТ, СНиП, СП) под требования Технического регламента таможенного союза. И за частую, возникает ситуация, когда на один и тот же материал распространяется 2 и более норматива.

- Внедрение системы проектирования асфальтобетона Суперпейв, цель которой аналогична традиционному ранее применяемому подходу, однако с применением абсолютно новой приборной основы, стоимость которой при полной комплектации лабораторно-исследовательских центров более 60 млн. рублей.

- Внедрение новейших цифровых технологий сбора, обработки и передачи информации.

- Абсолютное оформление и совмещение элементов транспортной инфраструктуры с архитектурным ансамблем местности.

Реализация деятельности по данным направлениям формирует единый путь по созданию гармонизированной мозаики современной дорожной архитектуры, как для крупных многомиллионных агломерации, так и для малонаселенных периферийных районов (рисунок 1).

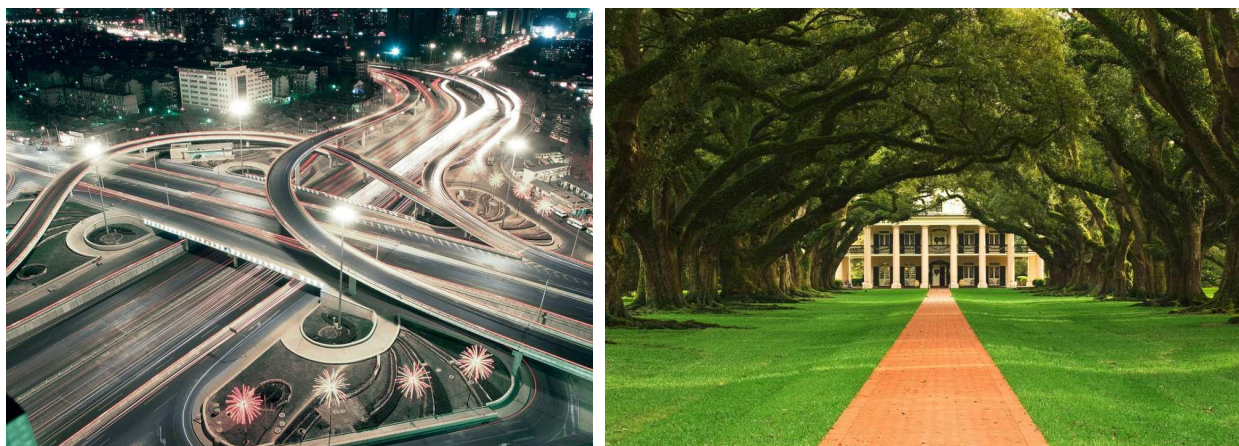


Рисунок 1. – Современная дорожная архитектура

Оренбургскую область можно отнести к числу лидирующих регионов по развитию транспортной инфраструктуры с протяженностью региональных и межмуниципальных дорог общего пользования протяженностью более 12,3 тыс. км (рисунок 2.).

В рамках уже традиционно выделяемых средств на развитие и содержание дорог из бюджета различных уровней 2017 г. ознаменован реализацией еще двух стратегических проектов:

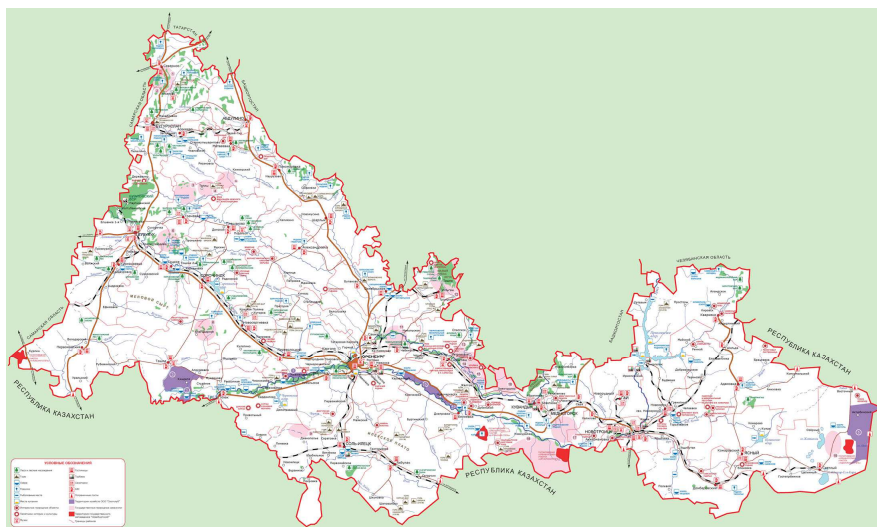


Рисунок 2. – Региональные и межмуниципальные дороги общего пользования Оренбургской области

Первый проект – БКД (БКАД) (Безопасные и качественные дороги». Регион вошел в число победителей программы и активно работает над приведением в нормативное состояние дорожной сети и сокращением аварийно-опасных участков дорог.

Второй проект – Оренбургский участок международного транспортного маршрута «Европа – Западный Китай» с созданием мультимодального логистического центра «Сухой порт».

В обоих случаях особое внимание уделяется пролонгированному сроку службы линейных объектов.

Учитывая тот факт, что транспортная инфраструктура должна не только поддерживать текущие связи, но и иметь резервы, призванные обеспечить мобильность экономики, все чаще прорабатывается вопрос широкого использования в дорожном строительстве функциональных бетонных композиций, как более долговечной основы по сравнению с традиционными технологиями (рисунок 3).



Рисунок 3. – Бетонные дороги

Определенные наработки в практике дорожного строительства по этому направлению были, однако этого недостаточно и на наш взгляд мы можем и должны участвовать в проектной проработке данного вопроса для дорог различного назначения. Ведь проектные решения во многом определяют экономику объекта, поэтому нужна обширная база для сравнения и выбора оптимальных решений.

Еще одним сдерживающим фактором на сегодняшний день является отсутствие базы соответствующего автопарка для технологических операций по строительству монолитных бетонных дорог. Отечественных аналогов представленным агрегатам с полной системой автоматизации просто нет, а имеющиеся технологии по укладке и уплотнению бетонных смесей применяемые на наших предприятиях здесь неприемлемы.

Анализируя разработки последних лет необходимо отметить, что многие компоненты имеют абсолютно отличный характер поведения в композитных системах, существенно детализировались условия их эффективного применения, возросла роль компонентной совместимости составляющих.

В своих исследованиях и достигнутых результатах кафедры автомобильных дорог и строительных материалов Оренбургского государственного университета не претендует на создание конкретного элемента, а работает в направлении модернизации и улучшения композитных систем в целом. Учитывая движущийся прогресс, то разработанные сегодня составы будь то дорожного бетона, тротуарной плитки, бордюрного камня завтра могут быть не актуальными. Для примера: еще 10-ть лет назад мы работали с пластификаторами, 5-ть лет назад активно внедрили суперпластификаторы, а сегодня работаем с гиперпластифицирующими добавками.

В своих работах по созданию композитных систем оптимального состава или модернизируя уже имеющиеся, мы стремимся к вечности (в нашем случае к долговечности материала). Но как не парадоксально вода основа жизни на нашей планете, она же самый агрессивный фактор разрушения, не зависимо будь то асфальт или цементный бетон (рисунок 4). И здесь много наукоемких, но при этом практикоориентированных вопросов, в решении которых необходима помощь ученых для разработки исключительных решений.

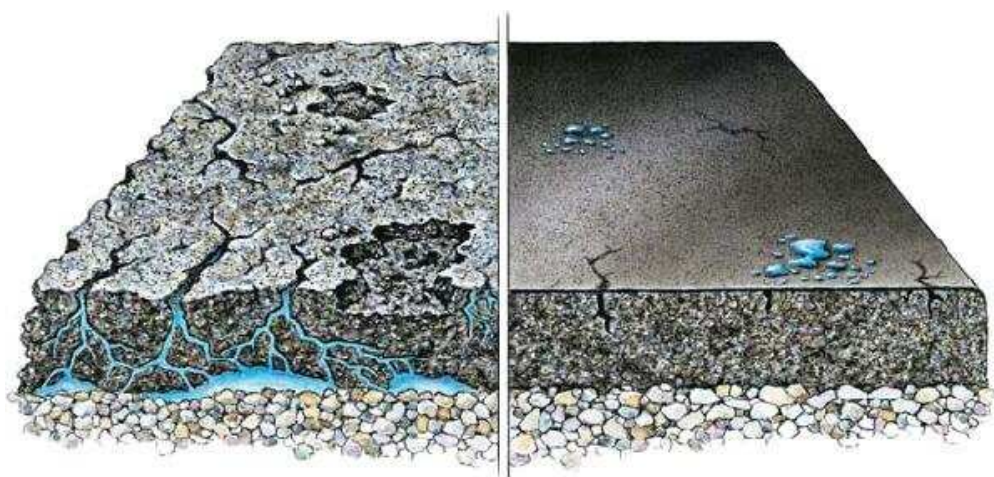


Рисунок 4. – Агрессивное воздействие влаги

Однако, мы никуда не уходим от наших рыночных отношений и анализируя внедряемые инновации на дорогах приходим к следующему:

1. В большинстве случаев модернизация битумных композиций с целью улучшения строительно-технических характеристик конечного продукта сопровождается явной положительной динамикой повышения себестоимости;

2. Модернизация бетонных композиций сопровождается обратной динамикой себестоимости единицы конечного продукта, что по словам экспертов связано с 2-я факторами. Первый – колоссальная конкуренция на рынке бетонных композиций. Второй – неохваченный необъятный потенциал вторичных ресурсов. И здесь необходимо вспомнить уже ставший легендарным лозунг «Отходы в доходы».

Массовое внедрение отходов в производство новых товаров – это нормальная практика всего мирового сообщества, которая подпитывается различными стимулирующими мероприятиями. К сожалению, имея значительный природный минеральный потенциал мы упускаем из виду вторичное сырье. И последние выступления по этому вопросу руководящих органов свидетельствуют об актуальности этой задачи. Перманентной целью в ближайшей перспективе станет всестороннее решение этой проблемы.

Учитывая наши особенности золо-, шлако- и шламообразования и уже накопленный многотоннажный запас в отвалах необходимо активизировать деятельность в реализации стратегии развития промышленности по переработке и утилизации промышленных отходов, которая наверняка будет сопровождаться исполнением комплексных стратегических проектов. Предпосылки тому уже имеются – это создание инжиниринговых центров и т.д.

В завершении необходимо отметить, что практико-ориентированная теория в наших рыночных отношениях должна стать прочной основой долгосрочного взаимовыгодного сотрудничества ВУЗов и предприятий реального сектора экономики, независимо ни от какой погоды в политике, экономике, социальной сфере и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дергунов, С.А. Дороги будущего – дороги перемен [Электронный ресурс] / С.А. Дергунов, С.А. Орехов, Е.С. Бородин // Инновации в науке. – 2014. – № 30-1. – С. 96–109.
2. Безопасные и качественные автомобильные дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bkdrf.ru/>. – Дата доступа 25.10.2019
3. Портал Правительства Оренбургской области: Дорожное хозяйство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.orenburg-gov.ru/Info/Economics/Roads/>. – Дата доступа 25.10.2019

УДК 691

## РОЛЬ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ В РАЗВИТИИ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА

*Е. А. Тарановская, С. А. Дергунов, А. А. Селезнев, К. В. Юкова*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*Развитие транспортной инфраструктуры городов является важным рычагом развития прилегающих территорий. Важную роль в создании транспортной логистики и грузоперевозок играет вклад нефтегазового комплекса, который определяет масштабы, границы и динамичность развития различных агломераций, прилегающих к местам нефте- и газодобычи.*

**Ключевые слова:** *нефтегазовый комплекс, инновации, инфраструктура, транспорт, дорожное строительство.*

## THE ROLE OF THE OIL AND GAS INDUSTRY IN THE DEVELOPMENT OF THE ROAD ECONOMY

*E. Taranovskaya, S. Dergunov, A. Seleznev, K. Yukova,*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*The development of transport infrastructure of cities is an important lever for the development of adjacent territories. The contribution of the oil and gas complex plays an important role in the creation of transport logistics and cargo transportation, which determines the scale, boundaries and dynamic development of various agglomerations adjacent to oil and gas production sites.*

**Keywords:** *oil and gas complex, innovations, infrastructure, transport, road construction.*

Значительный интерес к масштабному освоению регионов с богатыми полезными ископаемыми сопровождается эволюцией в организации и структуре их жизнедеятельности – создаются производственные комплексы, строятся объекты транспортной инфраструктуры, организовываются культурно-массовые мероприятия. Особый вклад в данное направление вносит нефтегазовый комплекс, оказывая всестороннюю поддержку населенным пунктам и целым агломерациям, расположенным вблизи добывающих и перерабатывающих предприятий своей отрасли.

Не смотря на неоднозначное отношение ко всей нефтегазовой отрасли:

– одни воспринимают ее как основу национальной экономики и, как следствие, основным признаком безусловной зависимости и отсталости России, неразвитости высокотехнологичных отраслей, податливости страны к конъюнктуре мирового энергетического рынка;

– другие полагают, что наличие развитой нефте- и газовой инфраструктуры является важнейшим критерием благополучия и основным фактором технико-экономического благосостояния населения;

– третьи взволнованы интересами будущих поколений и хотят прекратить динамичную добычу драгоценного сырья.

Для детализации и расстановки приоритетов в выше представленных моментах необходимо проанализировать исторические факты.

Исторически сложилось так, что нефтегазовая промышленность сформировалась только во второй половине XX в. Изначально под нефтегазовым комплексом понималась отрасль, обеспечивающая разведку, добычу, транспортировку и переработку углеводородов. В России зарождение данного направления датируют серединой XIX века (условно годом рождения «нефтянки» считается 1864 г., когда была пробурена первая скважина на нефть с применением механического ударно-канатного бурения на Кудак - Киевском месторождении в Краснодарском крае). Однако, только в 1940-1950 гг. начинается организационное оформление индустрии, происходит повышение хозяйственного значения, а также качественный скачок в уровне добычи и потребления углеводородного сырья. На сегодняшний день природный газ и нефть являются самыми ценными компонентами природно-ресурсной базы не только топливной, но и всей добывающей отрасли. Влияние нефтегазового комплекса преобладает во многих сферах хозяйства, т.к. находится в тесной взаимосвязи со многими отраслями экономики, что определяет орбиту ускоренного социально-экономического развития. Примером этому являются богатые нефтью и природным газом монархии на юго-западе Азии, такие как Саудовская Аравия, Кувейт, Катар, Бахрейн, Оман, которые эффективно распорядились колоссальными доходами от их экспорта, создали за счет них современную индустрию (органическую химию, электроэнергетику, металлургию), дорожную, финансовую, социальную инфраструктуру, развитые системы водоснабжения, сельского хозяйства, туризма, прибыльно вложили капиталы за границей, смогли обеспечить своим гражданам высокий, даже по западным меркам, уровень жизни.

Ситуация в нашей стране немного неоднозначна. Основные запасы сырья находятся в труднодоступных регионах. Тем самым, Россия делится на две части — транспортно-недостаточная, в основном энергоизбыточная, с основными минеральными и другими природными ресурсами Сибирь и Дальний Восток, и остальная часть России — с противоположными характеристиками.

Начало XXI века характеризуются растущей интеграцией России в мировую экономику, в основном, через сибирские ресурсы, происходит определенная переориентация транспорта и его инфраструктуры на страны азиатско-тихоокеанского региона. Отмечено единогласное мнение экспертов об увеличении транспортных перевозок (в т.ч. на экспорт) российских ресурсов — нефти, газа, угля, черных металлов, леса, стройматериалов. Основными точками технико-экономического роста, к примеру Сибири являются межрегиональные внутренние рынки, особое значение при их формировании принадлежит крупным транспортным узлам на базе больших городов типа Новосибирска, Омска, Красноярска и т.д.

Россия обладает гигантским транспортным комплексом, который постепенно и планомерно осваивает Сибирь, придерживаясь стародавней парадигме «сдвиг производительных сил на восток». На юге Сибири развито машиностроение, аграрно-промышленный и научно-образовательный комплексы, в которых занята основная трудоспособная часть населения, генерирующая новые идеи и технологии. Это тылы для развития Севера и его транспортной системы. Учитывая специфику экстремальных природно-климатических условий, с учетом концентрации уникальных и крупнейших месторождения полезных ископаемых, необходим особый технологический подход ко всему и в первую очередь к дорожному строительству.

Каждый вид транспорта для России, в зависимости от региона, имеет свои преимущества и недостатки. Восточная зона страны никогда не будет обладать такой транспортной системы, как в Европейская часть. Концептуальной основой развития транспорта в Азиатской части РФ должен стать экологический аспект, практические мероприятия, нейтрализующие негативное воздействие отрасли на хрупкую природу. Тем самым транспортный комплекс — это сложная, многоуровневая, многоотраслевая система, развитие которой является важнейшим фактором экономического и социального развития, решения основных геополитических задач. В то же время, эта система зависит от темпов научно-технического прогресса во всех сферах жизнедеятельности и определяет основные принципы построения государственной политики в сфере транспортной системы. Такое развитие даст импульс для развития бизнеса и будет стимулировать частный капитал, создавая новые основы для экономического развития. Для российских регионов развитие транспортной системы является более важным фактором привлекательности территорий для инвестиций, развития производства и улучшения качества жизни людей. Так, освоение месторождений полуострова Ямал способствовало разработке новых проектов — строительства инженерных и социальных объектов регионального значения (железнодорожной дороги, аэропорта, морского порта, сети автомобильных дорог, объектов связи и др.), и в бюджете ОАО «Газпром» запланировано вложить до 2030 г. на реализацию социальных статей порядка 103,7 млрд руб. ОАО «Роснефть» реализует проект строительства в районе Находки нефтехимического комплекса, который будет перерабатывать до 30 млн тонн сырья в год. Вокруг комплекса планируется возвести городок с жилыми домами, детскими садами, школой и т.д., к нему будут протянуты железная и автодороги, электросети, газопровод, объекты водоснабжения, появится морской терминал и другая производственная инфраструктура. Роль нефтегазовых компаний подтверждают данные рейтинга социальной ответственности, проводимого агентством политических и экономических коммуникаций — так, ОАО «Роснефть», ОАО «Транснефть», ОАО «Газпром», ОАО Сургутнефтегаз, ОАО «ЛУКОЙЛ» занимают 2-е, 4-е, 5-е, 9-е и 14-е места соответственно в группе компаний с очень высоким уровнем социальной ответственности.

Другой важной особенностью России являются суровые климатические условия, характерные для большей части транспортной сети. Эксплуатация шоссейных дорог в северо-восточных регионах обходится в 2-3 раза дороже с более частыми ремонтно-

восстановительными работами, чем в центре и на юге Европейской части России, в том числе и потому, что технологии строительства недостаточно адаптированы к реальным эксплуатационным условиям. Примеры решения аналогичных проблем хорошо известны (Аляска, Канада, Хоккайдо). С этим же связаны и проблемы безопасности движения на транспорте. При низких температурах работоспособность транспортной техники резко падает; поток отказов в зимнее время и переходные осенне-весенние периоды резко увеличивается по сравнению с летним временем и достигает порой десятикратной величины. Несмотря на экстремальные температурные условия, доля применяемой здесь техники экстремальном исполнении не превышает 20%. Поэтому для модернизации и развития транспортной сети России особенно важно применение самых современных технологий с повышенной стойкостью к экстремальным условиям эксплуатации.

Для решения выше обозначенных проблем в инновационной стратегии развития нефтегазового комплекса обозначено участие в решении следующих стратегических задач, затрагивающих благополучие транспортной инфраструктуры:

- совершенствование и развитие опорной транспортной сети;
- обеспечение гарантированной доступности транспортных услуг для населения и хозяйствующих субъектов;
- повышение конкурентоспособности транспортной системы России и обеспечение реализации транзитного потенциала страны;
- повышение комплексной безопасности и устойчивости транспортной системы;
- улучшение инвестиционного климата и развитие рыночных отношений на транспорте.

Необходимо отметить еще одну позицию - интеллектуализацию всей транспортной системы. В данный аспект вкладывается подготовка новых кадров, информатизация, научное обеспечение, включая принципиально новые технологии и машины.

В заключение, необходимо отметить, что на сегодняшний день, нефтегазовая отрасль России является ключевым фактором ее благосостояния. Реализация энергодобывающих проектов имеет большое значение для развития страны и ее экономики в целом. Спрос на минеральное сырье стабилен, хотя не застрахован от снижения цен и кризисов. Для снижения рисков и достижения стратегических целей развития необходимы решение задач, сдерживающие развитие и ключевой в этом случае является строительство безопасной и качественной инфраструктуры транспорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьев, Е.В. Трансфер технологий как способ повышения производственного потенциала промышленного предприятия / Е.В. Астафьев // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2012. – № 4. – С.142-149.
2. Вагин, С.Г. Современные доминанты инновационно-технологического развития / С.Г. Вагин // Известия института систем управления Самарского гос. экон. ун-та. – 2010. – № 1. – С. 154-160.



3. Детальный обзор энергетической политики. Россия – 2014: краткий обзор / Международное энергетическое агентство: ОЭСР / МЭА, 2014.
4. Зараменский, Е.П. Трансфер технологий: сущность и значение в развитии экономики Российской Федерации / Е.П. Зараменский // Вестник Тамбовского университета, Серия: Гуманитарные науки. – 2013. – № 9 (125). – С.42-49.
5. Инновационная система как часть экономической системы. [Электронный источник]. – Режим доступа: URL: <http://www.innosys.spb.ru/?id=513>. – Дата доступа 17.11.2014.
6. Коршак, А.А., Шаммазов, А.М. Основы нефтегазового дела: учебник для ВУЗов – Уфа: Дизайнполиграфсервис, 2002. – 544 с.
7. Литвиненко, И.Л. О необходимости реализации государственной инновационно-инвестиционной политики в России // Креативная экономика. – 2014. – №01(85). – С.36-46.
8. Шафраник, Ю. Российская энергетика: вызовы времени. // Международная жизнь. – 2014. – №2. – С.27-34.

УДК 691

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛАКОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*С.А. Дергунов, С.В. Сериков, О.В. Серикова, Д.С. Махина*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*Производство металлургии в нашей стране является важнейшей и одной из старейших отраслей. Побочным сырьем при производстве металла являются шлаки, которые в свою очередь служат основным компонентом при производстве строительных материалов. Данные материалы по своей стоимости выходят более дешевыми, чем полученные из природного сырья. На сегодняшний день металлургическая отрасль приносит огромную прибыль в бюджет страны. В связи с чем вопрос о переработке и применению шлаков весьма перспективен в наше время.*

**Ключевые слова:** *шлаки черной металлургии, производство, промышленность, строительные материалы, проблема накопления, переработка.*

## PROSPECTS FOR APPLICATION OF BLACK METALLURGY SLAGS

*S. Dergunov, S. Serikov, O. Serikova, D. Mahina*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*Metallurgy production in our country is the most important and one of the oldest industries. The slags are secondary raw materials in the metal production. They serve as the main component in the building materials production. These materials are cheaper than analogs from natural raw materials. Today, the metallurgical industry brings huge profits to the country's budget. In this connection, the issue of processing and use of slag is very promising in our time.*

**Keywords:** *slag of ferrous metallurgy, production, industry, building materials, accumulation problem, processing.*

Все техногенные отходы металлургического производства следует разделять на черную и цветную металлургию. Основное применение шлаки черной металлургии нашли в наше время, однако металлургическая промышленность является одной из старейших отраслей промышленности. Производство металла территориально делится на три больших центра. Данными центрами являются Уральский, Сибирский и Центральный. Они пополняют производственными запасами черной и цветной металлургии всю страну. Первостепенно данные металлы идут на производство отечественного машиностроения и оборонной промышленности

Шлаки черной металлургии подразделяются на сталеплавильные, ферросплавные, ваграночные и доменные:

1) Доменные - получают путем выплавки чугуна. В связи с низкой плотностью (примерно в два раза меньше, чем у чугуна) они появляются в верхней части над расплавленным слоем чугуна и впоследствии удаляются. Его применение зависит от

химического способа охлаждения. При охлаждении он может стать камнем или рассыпаться в порошок. Крупные куски используются в качестве щебня, стоимость которого на строительном рынке значительно ниже, чем природного, однако механические свойства у такого щебня зачастую бывают ничуть не хуже.

2) Сталеплавильные – шлаки, полученные при производстве стали в открытых агрегатах. Данные шлаки также собираются на поверхности расплава. Их источники: продукты, полученные при окислении примесей, содержащиеся в чугунах и ломе, добавочные окислители и материалы и другие содержат большое количество железа (20%) и марганца (10%).

3) Ваграночные – появляются при плавке чугуна в вагранке из продуктов окисления, чугуна, золы кокса, остатков в виде пригара формовочной смеси, флюса. Основные компоненты ваграночного шлака — это оксиды (80-90 %). При таком способе производства, в большинстве случаев, получают кислые шлаки с выделением минералов (рудных, меллитов, пироксенов, анортитов), алюмокремнезернистого стекла.

4) Ферросплавные – получают в процессе производства ферросплавов. Они различаются по добавленным к железу химическим элементам: хрому, марганцу, кремнию и др.

Россия опережает все промышленно развитые страны мира по количеству образующихся техногенных отходов на душу населения, но положение с переработкой промышленных отходов в стране остаётся всё же неудовлетворительным. По-прежнему, наибольшее количество отходов производит горно-металлургическая промышленность. На металлургических предприятиях России, в отвалах и шламохранилищах уже скопилось более миллиарда тонн отходов, из которых свыше 506 млн. т. — "наследие" предприятий черной металлургии, из них более 800 млн. т. — цветной. Поэтому, немалой экологической проблемой для России являются тонны отходов металлургического производства, количество которых исчисляется миллиардами. Шлаки являются наиболее массовым техногенным продуктом металлургии, технологии переработки которых наиболее продвинуты.

Данная проблема накопления техногенных металлургических отходов в стране может быть решена лишь только на основе современных технологий и ответственного отношения предприятий к этой проблеме, а именно, необходимо расширение объёмов внедрения действующих технологий рециклинга отходов, стимулирование технологических разработок в области утилизации и переработки отходов и законодательное побуждение промышленных предприятий к снижению объёмов производства отходов.

В целом, металлургическое производство имеет следующие особенности:

1. Технологический процесс производства требует крупных объёмов не только рудного сырья, но и воды, топлива (коксующегося угля, природного газа) и энергии;
2. С массовыми транспортными перевозками связаны взаимозависимость сырьевой и топливно-энергетической базы, а также большой объём готовой продукции;
3. Серьёзные экологические проблемы создают отходы производства и выбросы вредных веществ;
4. Особое значение приобретает вторичная металлургия с целью снижения затрат и экологического риска.

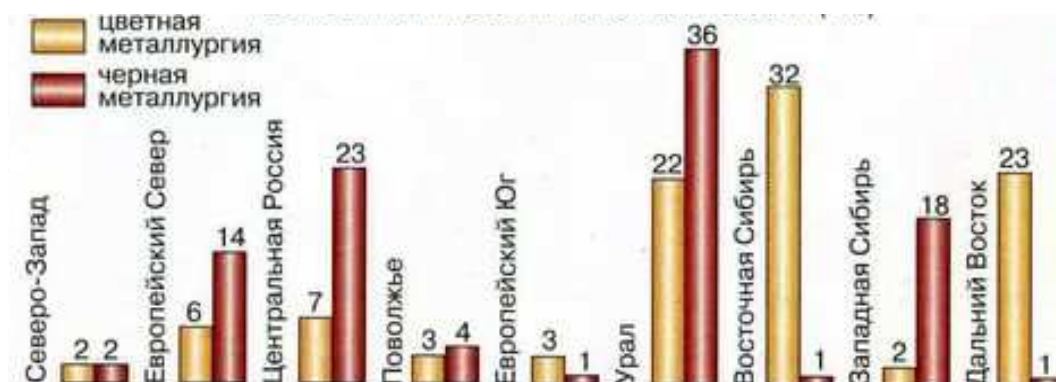


Рисунок 1. – Статистика по производству продукции черной и цветной металлургии по географическим районам России (%)

Шлаки черной металлургии представляют собой ценное сырье для производства ряда строительных материалов и изделий. Данные материалы по своей стоимости выходят более дешевыми, чем полученные из природного сырья. В настоящее время уже почти на всех действующих металлургических предприятиях организованы цехи или отделения по переработке шлака.

Шлаки черной металлургии используют во многих других отраслях. Основными направлениями являются - дорожное строительство, наполнители в асфальтобетон и бетон, в сельском хозяйстве для раскисления почв, а также в качестве железосодержащего материала для вторичной переплавки в доменных печах.

Металлургия является одним из главных "поставщиков" техногенного сырья для промышленности строительных материалов. Особенность ее многотоннажных отходов заключается в том, что техногенное сырье уже прошло высокотемпературную обработку, кристаллические структуры в отходах сформированы и не содержат органических примесей.

Основным потребителем шлаков черной металлургии является цементная промышленность, которая использует ежегодно 20-23 млн. т. гранулированного продукта. При взаимодействии с водой молотый высококальциевый гранулированный (стекло-видный) шлак способен твердеть, образуя при этом прочный камень, подобный цементу. На строительном рынке наиболее эффективным и дешевым является шлаковый цемент, а производство этого цемента не сложно и не требует специального оборудования. Технология его изготовления заключается в том, что сначала гранулированный шлак подсушивается, дозируется необходимыми составляющими и затем проходит стадию помола в мельницах различного типа. Ещё одним важным направлением в использовании гранулированных шлаков является применение их в производстве шлакопортландцемента. Введение шлака в состав цемента в количестве 30-50% не снижает марочной прочности портландцемента. Заводы изготавливают быстротвердеющие шлакопортландцементы с повышенной прочностью - до 600 кг/см<sup>2</sup>, применяя активные стекло-видные шлаки. Вообще, шлакопортландцементы находят самое широкое применение в строительной практике. Особо важную роль они играют в строительстве массивных гидротехнических сооружений. Гранулированные шлаки используют также для производ-

ства шлакощелочных цементов. Они получают путем тонкого помола гранулированного шлака совместно с малогигроскопичным щелочным компонентом или затворением молотого шлака растворами соединений щелочных металлов, так как натрий, литий или калий. Шлакощелочные цементы представляют собой гидравлические вяжущие вещества. Шлаковая пемза (термозит) представляет собой ячеистый материал, получаемый в результате вспучивания расплавленного шлака при быстром его охлаждении. Шлаковая вата представляет собой волокнистый материал, полученный из расплавленного шлака. Она обладает биостойкостью, температуростойкостью (600-7000С<sup>0</sup>), низким коэффициентом теплопроводности (0,038-0,055 Вт/м\*град.), имеет высокие звукоизоляционные свойства. Применение шлаковатных изделий разнообразно: они применяются для теплоизоляции горячих и холодных поверхностей, трубопроводов, для утепления стен и покрытий жилых и промышленных зданий, для звукоизоляции в зданиях с повышенным шумом.

При сочетании физических и механических свойств шлакоситаллов обуславливает возможность их широкого использования в строительстве: для полов промышленных и гражданских зданий, декоративной и защитной облицовки наружных и внутренних стен, перегородок, цоколей, футеровки строительных конструкций, подверженных химической агрессии или абразивному износу, кровельных покрытий отапливаемых и неотапливаемых промышленных зданий, облицовки слоистых панелей навесных стен зданий повышенной этажности.

Перечень строительных материалов, полученных из шлаков и область их применения достаточно широка. На некоторых предприятиях (например, ОАО "Северсталь") помимо каталогов, где описана их основная продукция существуют также и прейскуранты на эти материалы, среди которых фракционный щебень из сталеплавильных (дорожное строительство) и доменных шлаков (дорожное строительство, производство бетонов и минеральной ваты), шлак доменный гранулированный (дорожное строительство, производство цементов, раскисление почв) конвертерный шлак (производство цемента).

По данным ОАО «НИИЦЕМЕНТ» около 7,5 млн. т. металлургических отходов, в том числе 3,5 млн. т. доменных гранулированных шлаков, 320 тыс. т. шлаков цветной металлургии и более 1 млн. т. отходов глинозёмного производства в виде нефелиновых ежегодно использует шлакоцементная промышленность. Остальное приходится на отходы других промышленных производств. Проблема переработки шлаков с дальнейшим получением товарных материалов организована далеко не на всех металлургических предприятиях, но с решением данной проблемы объёмы применения техногенных отходов этого типа могли бы быть значительно увеличены.

Однако, далеко не все шлаки металлургии могут быть использованы в качестве вторичных строительных материалов. Не все шлаки могут быть прямо использованы в производстве или их использование может быть экономически нецелесообразно. Это связано с тем, что некоторые из них могут содержать тяжелые металлы и большое количество кислотных соединений. Такие скопления шлаков необходимо размещать на специализированных полигонах, которые предотвращают распространение опасных для окружающей среды элементов из состава шлака.

Еще одно немаловажное использование шлаков черной металлургии нашло применение в сельском хозяйстве, т.к. в нашей стране обширные площади земель, которые имеют повышенную кислотностью. Такие земли малоплодородны, так как содержат мало питательных веществ, имеют плохие физические свойства и структуру. Даже при достаточном количестве влаги, а иногда и при внесении минеральных удобрений, почва остается такой же. Вредную для сельскохозяйственных растений кислотность почвы можно устранить известкованием. Проведя процесс известкования почвы, внесенные в грунт специальные добавки обогащают его кальцием, оказывают глубокое и многостороннее действие, а именно уменьшают избыточную кислотность за счет нейтрализации почвы, значительно снижают содержание вредных для растений подвижных ионов алюминия. После этого почва становится более рыхлой, лучше удерживает влагу, повышается жизнедеятельность микроорганизмов, полезных для сельскохозяйственных растений. Материалами для известкования кислых почв являются молотые известняк и доломит. Однако не все районы страны могут позволить себе проводить известкование почвы, в связи с острым дефицитом в известковых удобрениях. Тогда, для решения проблемы повышенной кислотности почв первостепенное значение приобретает использование шлаков черной металлургии. Они могут рассматриваться, как комплексное известковое удобрение, которое наряду с нейтрализующими основаниями содержат фосфор, серу, марганец, микроэлементы. Как показали результаты исследований, внесение в почву шлака в количестве до 2,5% благоприятно сказывается на росте и развитии всех сельскохозяйственных культур.

Еще одним из перспективных и важных применений шлаков черной металлургии стало производства удобрений и мелиорации почв. Процесс производства следующий: исходный шлак дробят, извлекают из него металлические включения и сортируют по крупности на грохотах. Отсев шлака крупностью 0-5 (0-10) мм подвергают пневмокласификации при скорости воздушного потока 12-18 м/с и концентрации отсева шлака в пневмокласификаторе 4-10 кг/м<sup>3</sup>. В качестве добавок к шлакам используют сыпучие органические и неорганические материалы, такие как навоз, торф, птичий помет, суперфосфат, мочевины и др. Коммерческий результат заключается в том, что снижается себестоимость производства, улучшаются качества и расширяется ассортимент удобрений и мелиорантов на основе металлургических шлаков.

Применение шлаков не ограничивается строительной отраслью. Некоторые разновидности стекол содержащиеся в шлаках, обладают нужными внешними качествами. Таким образом, отвалы шлаков в перспективе могут являться еще и поставщиками нетрадиционного ювелирного и декоративного сырья. Например, опалесцит, стекло-агат и индигофорстерит по своим декоративным характеристикам относятся к группе ювелирно-поделочных камней, которые уже применяют для изготовления вставок в виде кабашонов в броши, кольца, браслеты, серьги и другие ювелирно-художественные изделия.

Черная металлургия – это базовый сегмент отечественной промышленности страны. На данный момент металлургическая отрасль приносит существенный вклад в экономический рост России. По данным аналитиков было подсчитано, что удельный доход в общем объеме промышленных товаров этой отрасли достигает 10%, а в сегменте ва-

лового внутреннего продукта – примерно 4,5%. Стоит говорить о том, что этот вид деятельности приносит огромную прибыль в России. Именно поэтому вопрос о переработке и применении шлаков весьма перспективен в наше время. Черная металлургия - это огромный налогоплательщик, который обеспечивает 14,5% отчислений в бюджет нашего государства. На заводах сектора находится почти 6% главных производственных объемов. Принимая во внимание межотраслевой характер черной металлургии, все процессы, которые наблюдаются в промышленном секторе, оказывают влияние на ее развитие и перспективы.

Перспективы применения шлака свидетельствует о том, что он является ценным техногенным сырьем, из которого можно получать различные функциональные строительные материалы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романенко, И.И., Романенко, М.И., Петровнина, И.Н. Новые материалы в дорожном строительстве // Молодой ученый. – 2015. – №7. – С. 198-200. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://moluch.ru/archive/87/16615/>. – Дата доступа: 08.10.2019.
2. Боброва, З. М., Ильина, О. Ю., Хохряков, А. В., Цейтлин, Е. М. Применение отходов горно-металлургических и металлургических производств в целях рационального природопользования // Известия Уральского государственного горного университета. – 2015. – С. 12 – 26 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <https://iuggu.ru/download/2015-4-Tseitlin.pdf>. – Дата доступа: 10.10.2019.
3. Новейшие достижения в переработке шлака [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL <http://rcit.su/proj-05-02d.html>. – Дата доступа: 15.09.2019.
4. Что такое шлак и для чего его применяют в строительстве [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL <https://zamesbetona.ru/podgotovka/shlak-jeto.html>. – Дата доступа: 05.09.2019.
5. Картамышева, Е.С. Новые технологии переработки отходов производства в современном мире /Е. С., Иванченко Д. С. // Молодой ученый. – 2017. – №51. – С. 115–118.
6. Валуев, Д.В. Технологии переработки металлургических отходов: учебное пособие / Д.В. Валуев, Р.А. Гизатулин // Томский политехнический институт, 2014.–196 с.
7. Дигонский, В.В. Металлургия будущего: учебник / В.В. Дигонский, С.В. Дигонский, А.В. Дигонский, Н.А. Дубинин, Изд-во: Наука. –2015. – 128 с.

УДК 691.5

## КОМПОЗИЦИОННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ

**В.Н. Рубцова, А.А. Хасанова**

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: ruvani@mail.ru

*Исследования последних лет посвящены проектированию составов сухих строительных смесей на гипсовых вяжущих повышенной водостойкости, которая достигается за счёт применения химических добавок или ввода комплексного гидравлического вяжущего. В данной работе методом математического планирования изучено влияние количества гидравлической добавки на прочность и водостойкость композиционного гипсового вяжущего и определена область составов, при которых достигаются максимальные значения показателей прочности и коэффициента размягчения. Установлено, что образцы, хранящиеся в течение трех месяцев, не подверглись растрескиванию и разрушению.*

**Ключевые слова:** гипсовое вяжущее, сухие строительные смеси, математическое планирование, водостойкость, прочность.

## COMPOSITE GYPSUM BINDER

**V. Rubtsova, A. Khasanova**

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: ruvani@mail.ru

*The recent researches have been devoted to the design of dry mix mortars based on gypsum binders with increased water resistance. It is achieved through the use of chemical additives or the introduction of a complex hydraulic binder. The influence of the hydraulic additive amount on the strength and water resistance of a composite gypsum binder through the mathematical method of planning was studied. Also it was determined the composition range which have maximum values of strength and softening coefficient. It was found that samples stored for three months did not undergo cracking or destruction.*

**Keywords:** gypsum binder, dry mix mortars, mathematical method of planning, water resistance, strength

Наиболее перспективным направлением развития производства сухих строительных смесей является разработка составов и внедрение гипсовых смесей. Гипсовые растворы быстро набирают требуемую прочность, что влияет на сроки проведения строительных работ. Благодаря ряду преимуществ гипсовых смесей, по сравнению со смесями на других вяжущих, их доля в объеме производства увеличивается. Но традиционные гипсовые вяжущие неводостойки, и применение смесей на их основе ограничивается работами внутри помещений.



Многочисленные исследования последних лет посвящены проектированию составов сухих строительных смесей на гипсовых вяжущих повышенной водостойкости, которая достигается, в основном, за счёт применения химических добавок или ввода комплексного гидравлического вяжущего.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения водостойкости гипсовых вяжущих является создание гипсоцементнопуццолановых вяжущих (ГЦПВ).

Проведенные нами ранее исследования по разработке составов ГЦПВ с использованием методики А.В. Ферронской (по концентрации оксида кальция в специальных препаратах) позволили получить водостойкое вяжущее и эффективные строительные смеси на его основе.

В данной работе методом математического планирования изучено влияние количества портландцемента и доменного граншлака на прочность и водостойкость композиционного гипсового вяжущего (КГВ).

При проведении экспериментальной части работы выбраны следующие исходные материалы: гипс марки Г-5 производства ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», портландцемент ПЦ400 «Южно-уральская Горно-перерабатывающая компания», шлак доменный гранулированный ООО «Урал-Ресурс».

Таблица 1. – Основные характеристики плана экспериментов

Факторы Варьирования	Код	Интервал варьирования	Уровни варьирования				
			-1	-0,22	0	+0,503	+1
Количество цемента,%	X <sub>1</sub>	15	10	19,5	25	37,575	40
Количество шлака,%	X <sub>2</sub>	15	10	19,5	25	37,575	40

Была проведена серия опытов с композиционным гипсовым вяжущим, в которое вводился портландцемент и граншлак от 10-40%. Методом планирования эксперимента было получено шесть различных составов.

Таблица 2. – Матрица планирования и основные характеристики КГВ

№ опыта	Портландцемент	Граншлак	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент размягчения
1	10	40	8,8	20,9	0,64
2	10	10	8,7	21,4	0,47
3	37,57	10	9,0	20,5	0,65
4	37,57	40	6,4	21,4	0,70
5	40	25	7,6	17,8	0,71
6	19,5	25	10,7	23,1	0,51

В результате проведенной статистической обработки экспериментальных данных по исследованию влияния количества портландцемента и активной минеральной до-

бавки на физико-механические характеристики материала получены уравнения, описывающие совместное влияние входных параметров на прочность при изгибе и сжатии, а также на коэффициент размягчения стандартных образцов:

$$R_{сж} = 33,01 - 11,71x_1 + 11,41x_2 - 57,12x_1^2 + 19,00x_2^2 + 22,21x_1x_2$$

$$R_{из} = 105,52 - 14,518x_1 - 8,632x_2 - 15,044x_1^2 - 17,111x_2^2 - 9,147x_1x_2$$

$$K_p = 0,531 + 0,11x_1 + 0,043x_2 + 0,068x_1^2 + 0,071x_2^2 - 0,036x_1x_2$$

где  $X_1$  – содержание портландцемента, %

$X_2$  – содержание шлака, %.

$R_{из}$  – предел прочности при изгибе, МПа

$R_{сж}$  – предел прочности при сжатии, МПа

$K_p$  – коэффициент размягчения.

Коэффициенты искомого уравнения определяли на основе экспериментальных данных.

Анализ полученных уравнений регрессии и построенных с их использованием зависимостей, представленных на рисунках 1-3, показывает следующее.

Существует область оптимальных значений количества компонентов комплексной гидравлической добавки (портландцемента и молотого доменного гранулированного шлака), при которых достигаются максимальные значения показателей прочности и водостойкости искусственного камня на основе КГВ.

Полученные составы КГВ с прочностью 20,5-21,5 МПа и коэффициентом размягчения, равным 0.71, соответствуют материалам повышенной водостойкости. Проанализировав уравнения, можно сделать вывод, что механическая прочность затвердевшего композиционного гипсового вяжущего по результатам испытаний стандартных образцов на изгиб и сжатие в большей степени зависит от содержания портландцемента и в меньшей – от количества граншлака.

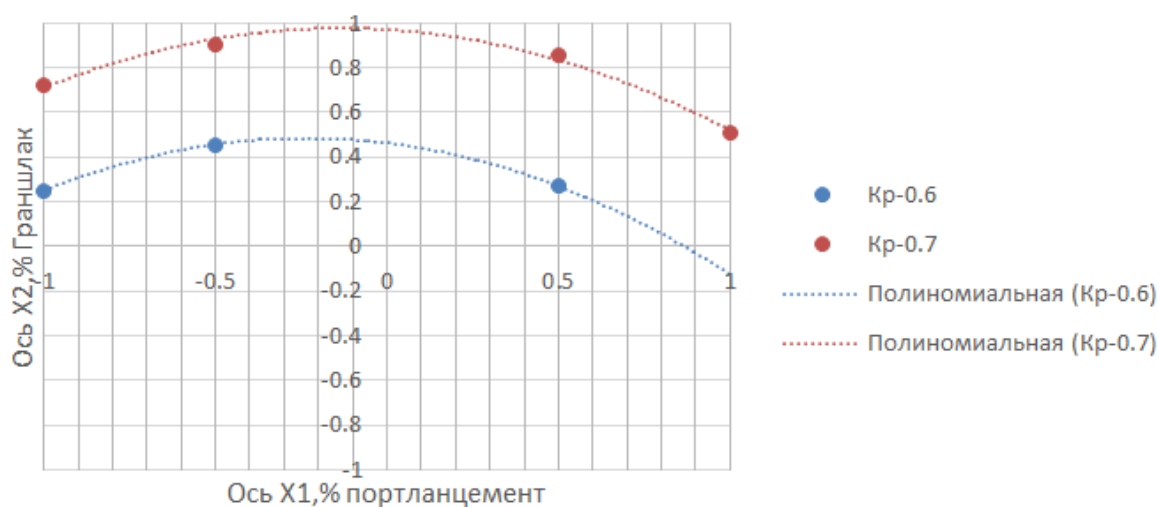


Рисунок 1. – Влияние количества портландцемента и граншлака на коэффициент размягчения искусственного камня на основе КГВ

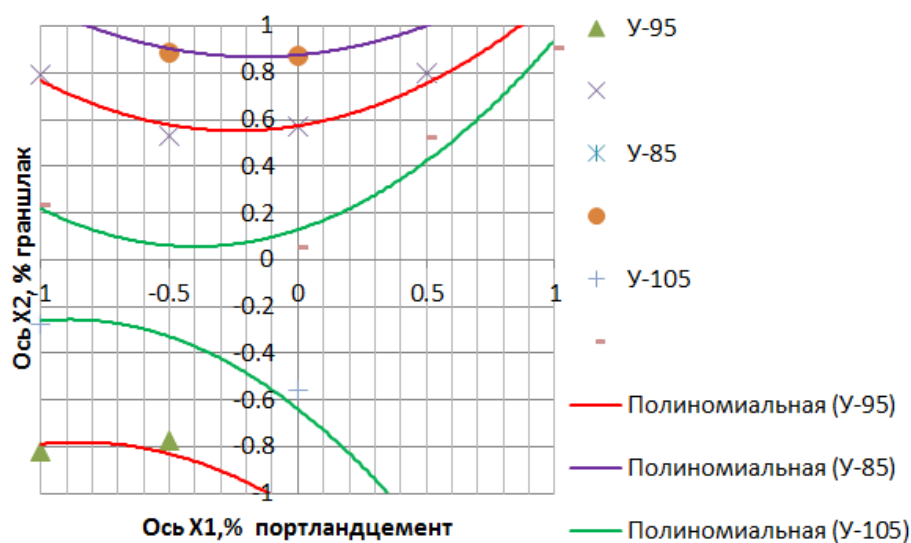


Рисунок 2. – Влияние количества портландцемента и граншлака на прочность при изгибе искусственного камня на основе КГВ

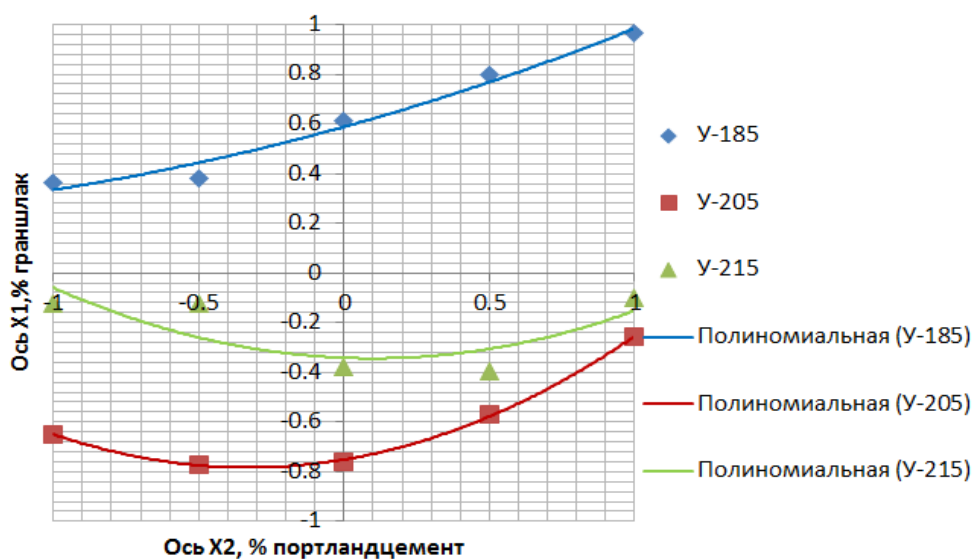


Рисунок 3. – Влияние количества портландцемента и граншлака на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ

Для изучения устойчивости во времени исследуемых составов образцы были оставлены на длительное хранение. Установлено, что образцы, хранящиеся в эксикаторе с относительной влажностью воздуха 95% в течение первых трех месяцев, не подверглись растрескиванию и разрушению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов, Н.В. Гипсовые вяжущие повышенной водостойкости на основе промышленных отходов / Н.В. Козлов, А.И. Панченко, А.Ф. Бурьянов [и др.] // Научное обозрение. -М.: Издательский дом "Наука образования", 2013. – № 9. – С. 200–205.

2. Амелина, Д.В. Влияние химических добавок на свойства гипсового вяжущего / Д.В. Амелина, Л.И. Сычева // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – Т. 24. – № 6. – С. 41–43.
3. Акмолаев, К.А. Влияние гидравлической добавки на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Известия вузов. Строительство. – 2002.– № 3. – С. 50–52.
4. Белякова, Н.А. Гипсовые сухие строительные смеси повышенной водостойкости / Н.А. Белякова, С.А. Дергунов, В.Н. Рубцова // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., 23-24 марта 2017 г., Саратов / под ред. Абдразакова Ф.К., Медведевой Н.Л. – Электрон. дан. – Саратов: Амирит, 2017. – С. 36–41.

УДК 666.972

## МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ (ОЦЕНКИ) МОРОЗОСТОЙКОСТИ ВИБРОПРЕССОВАННОГО БЕТОНА

**А. И. Бондарович, П.В. Рябчиков**

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: niil\_bism@tut.by

*В статье изложены основные положения предлагаемой ускоренной методики определения морозостойкости тяжелого конструкционного мелкозернистого и с крупным заполнителем бетона вибропрессованных изделий для дорожных (тротуарных) покрытий. Она позволяет оценивать показатель морозостойкости бетона непосредственно в изделиях без циклических испытаний замораживанием-оттаиванием. В основе методики – взаимосвязь и взаимозависимость между состоянием структуры бетона (оцениваемой по влагосодержанию в насыщенном водой (раствором 5% NaCl) состоянии), скоростью распространения в нем ультразвукового импульса и установленной (путем прямых экспериментальных испытаний на морозостойкость бетона) закономерностью изменений его морозостойкости, отражаемой соответствующими изменениями скорости ультразвука.*

**Ключевые слова:** бетон, влажность, прочность, скорость ультразвука, морозостойкость, методика, плиты тротуарные, камни бортовые.

## METHOD OF OPERATIONAL FROST RESISTANCE MONITORING (ASSESSMENT) VIBRATION-PRESSED CONCRETE

**A. Bondarovich, P. Ryabchikov**

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: niil\_bism@tut.by

*In article basic provisions of the offered accelerated technique of determination of frost resistance heavy constructional fine-grained and with large filler of concrete of the vibropressed products for road (sidewalk) coverings are stated. She allows to estimate an indicator of frost resistance of concrete directly in products without cyclic tests by freezing thawing. At the heart of a technique – interrelation and interdependence between a condition of structure of concrete (estimated on moisture content in a state sated with water (solution of 5% of NaCl)), distribution speed in it an ultrasonic impulse and established (by direct experimental tests for frost resistance of concrete) regularity of changes of its frost resistance reflected by corresponding changes of speed of ultrasound.*

**Keywords:** concrete, humidity, strength, ultrasound speed, frost resistance, technique, paving slabs, on-board stones.

**Введение.** Для оценки морозостойкости бетона (кроме стандартных базовых и ускоренных экспериментальных методов ее определения) существует ряд предложений в виде математических зависимостей для теоретического расчета ее значений. Согласно этим методикам, используя данные о составе бетона, характеристиках цемента и вероятной степени его гидратации, условиях твердения и других, можно с различной степенью достоверности определить ожидаемое значение исходной морозостойкости бетона перед началом эксплуатации.

Наиболее значимыми из предложений для теоретического расчета морозостойкости бетона и ускоренного определения ее значений являются: методика Г.И. Горчакова [1]; более сложное по математическим зависимостям и методике предложение, составившее основу структурно-механического метода ускоренного (ГОСТ 10060.4-95) определения морозостойкости бетона (проверка этого метода, выполненная в БНТУ в сравнительных испытаниях с ГОСТ 10060.0...2-95, показала серьезный уровень расхождения данных, достигавшего в некоторых случаях величины в 2 раза); в РУП БелНИИС под руководством проф. Н.П. Блещика [2] разработан и совершенствуется метод, сочетающий аналитический расчет (включает более 20 формул) и измерение деформаций в период оттаивания предварительно замороженного образца бетона (по существу этот метод (с рядом изменений) основывается на результатах работ Горчакова Г.И. и его научной школы, выполненных в 50...60-ых годах прошлого века, на базе которых в ГОСТ 10060.3-95 зафиксирована методика дилатометрического метода ускоренного определения морозостойкости с помощью специального устройства - дилатометра, при одноразовом замораживании образца бетона и фиксации его деформаций в этот период); предложенная в последние годы и обоснованная в работах В.В. Бабицкого [3] методика и математическая зависимость, отражающая взаимосвязь морозостойкости с составом бетона, качеством цемента, степенью его гидратации (с учетом условий твердения) и с рядом других факторов, для оценки морозостойкости бетона на стадии изготовления изделий (конструкций), а также ряд других предложений [4,5, и др.].

Как следует из изложенного, эти предложения (включая стандартные определения) либо требуют расширенной информации о материалах для бетона, условиях его формирования и твердения и т.д., либо характеризуются значительной продолжительностью испытаний, либо требуют наличия специального оборудования для их проведения.

Предлагаемая методика доступна в осуществлении и реализации по фактическому – «физическому» – состоянию порового пространства испытываемого бетона, оцениваемого с поверхности изделий диэлькометрическими влагомерами с планарными датчиками (МГ-4; ВСКМ-12; ВИМС-1,0 и др.), и легко определяемой скорости распространения ультразвука, например, тестером «УК 1401», оснащенного датчиками «точечного» приложения (конусные датчики). Общий период испытаний составляет 4-5 дней, с учетом 96 часового насыщения бетона по ГОСТ 10060.0-95.

**Область применения.** Настоящая методика распространяется на свежизготовленные (не эксплуатировавшиеся) элементы тротуарных покрытий (элементы благоустройства) в виде плит и бортовых камней.

**Приборы и методы контроля состояния бетона.** *Контроль (определение) влажности бетона* испытываемых элементов благоустройства осуществляют с помощью универсальных влагомеров «МГ-4»; «ВСКМ-12»; «ВИМС-1,0» или других диэлькометрических влагомеров с планарными датчиками для контроля влажности с поверхности (прилегающего к ней слоя бетона), базирующихся на диэлькометрическом методе ее измерения (ГОСТ 21718-84).

*Контроль (определение) скорости ультразвука в бетоне* элементов благоустройства в покрытии на контролируемых участках осуществляют с помощью тестера ультразвукового «УК-1401», оснащенного датчиками «точечного» приложения с базой (межосевым расстоянием) в 150 мм и измеряющего скорость распространения продольных ультразвуковых волн в слое бетона, прилегающем к поверхности элемента благоустройства. Возможно использование иных приборов-аналогов, оттарированных в соответствии с паспортной документацией на прибор и положениями ГОСТ 17624-87.

*Среднюю плотность бетона испытываемых элементов благоустройства при необходимости определяют по ГОСТ 12730.1-78 в зависимости от конкретных условий, как для образцов правильной или неправильной формы.*

Основные положения методики.

Методика включает этапы:

- подготовку образцов (изделий) бетона;
- определение влажности бетона;
- определение скорости ультразвука;
- оценку показателя морозостойкости бетона (рисунок 1 (а–г); рисунок 2 (а–г)).

*Подготовка образцов (изделий) включает:*

- отбор изделий для контроля по СТБ 1152-99; ГОСТ 10060.0-95;
- установление вида бетона (мелкозернистый или с крупным заполнителем);
- насыщение бетона в течение 96 ч. в 5%-ом растворе NaCl по ГОСТ 10060.0-95.

*Определение влажности бетона* осуществляют с помощью диэлькометрических влагомеров с планарными датчиками для контроля влажности с поверхности (прилегающего к ней слоя бетона), базирующихся на диэлькометрическом методе ее измерения (ГОСТ 21718-84), как среднее значение не менее, чем 4-х замеров по граням в центральной части образцов.

*Скорость ультразвука в бетоне* определяют с помощью тестеров ультразвуковых, оснащенных датчиками «точечного» приложения с базой (межосевым расстоянием) в 150 мм, по положениям ГОСТ 17624-87, как среднее значение не менее, чем 4-х замеров по граням в центральной части образцов (ГОСТ 26134-84).

*Оценку показателя морозостойкости* бетона выполняют, используя установленные величины средних значений влажности бетона ( $W_{mi},\%$ ) и скорости ультразвука, полученные по результатам замеров на требуемом по СТБ 1152-99; ГОСТ 10060.0-95 количестве образцов, и данные рисунка 1 (а; б; в; г) – для мелкозернистого бетона, и рисунка 2 (а; б; в; г) – для бетона с крупным заполнителем. По ним определяют область установленных значений скорости ультразвука и стадию, к которой относится испытываемый бетон по состоянию его структуры. В настоящей методике стадия I характеризует бетон требуемой плотности, удовлетворяющей требованиям действующих нормативов по водопоглощению бетона. То есть, объем капиллярной (открытой, сообщающейся) пористости определяемый по водопоглощению по массе бетона мелкозернистого

менее 6%, а для бетона с крупным заполнителем - менее 5%. Стадия II характеризует бетон, водопоглощение по массе которого превышает указанные значения.

Для этого вначале возводят перпендикуляр от полученного значения водопоглощения бетона на горизонтальной оси  $W_{mi}$  до пересечения с нижней и верхней границей области установленных, соответственно, наименьшего и наибольшего значений (обозначенных на рисунке 1,а (2,а) и 1,б (2,б) сплошными графическими линиями) скорости ультразвука и определяют эти значения  $V_{yz}$ , проецируя точки пересечения на вертикальную ось.

Используя установленную область значений скорости ультразвука, ограниченную величинами наименьшей ( $V_{yz}^{min}$ ) и наибольшей ( $V_{yz}^{max}$ ) его скорости, соотносят фактическое значение скорости ультразвука с этим диапазоном и оценивают, к какой стадии по состоянию структуры относится испытываемый бетон контролируемого участка, а именно: к стадии I по рисунку 1, а (2, а) или к стадии II по рисунку 1, б (2, б).

Для этого сравнивают величины водопоглощения бетона и среднего значения скорости ультразвука, установленного (фактического, среднеарифметического значения) для оцениваемого количества образцов ( $V_{yzi}$ , м/с), с областью ее значений в пределах:  $V_{yz}^{min} \dots V_{yz}^{max}$ , м/с, относящихся к стадиям: I или II. Затем, используя графики и данные рисунка 1, в (2, в) или 1, г (2, г) (в зависимости от установленной стадии, к которой относится бетон по состоянию структуры), и величину среднего фактического значения скорости ультразвука в бетоне образцов  $V_{yzi}$ , м/с, определенную по данным замеров, оценивают показатель морозостойкости бетона для испытательной среды 5 % водного раствора NaCl при температуре минус 18оС (базовый метод) или (-50...-55) оС (ускоренный метод).

В случае, если среднее фактическое значение скорости ультразвука, определенное на образцах бетона, выходит за пределы диапазона «минимального – максимального» значений, то для дальнейшей оценки его морозостойкости используют величину минимального или максимального значения  $V_{yz}$ , в зависимости от «зоны» выхода фактического значения  $V_{yz}^{cp}$  из данного диапазона.

На основании результата оценки морозостойкости бетона испытываемых изделий и сопоставления этих данных с предъявляемым к нему уровнем требований по морозостойкости (марке) делают заключение о соответствии.

В случае, если установленный показатель морозостойкости бетона ниже требуемого, анализируют причины данной ситуации. Оценивают качество использованных материалов (характеристики вяжущего и заполнителя(ей)), рациональность состава бетона (расход материалов, водоцементное отношение, консистенцию (жесткость) бетонной смеси), степень (качество) уплотнения (интенсивность и продолжительность вибровоздействия, давление пригруза и состояние формовочного оборудования в целом), условия и режим твердения бетона (температура, влажность среды, время твердения и др.). На основании результатов анализа выявляют причины, вызвавшие несоответствие морозостойкости бетона требуемому уровню и устраняют их, корректируя параметры технологического процесса изготовления изделий.

При разработке, изложенной в своих основных положениях методики ускоренной оценки морозостойкости вибропрессованного бетона исходили из экспериментально



установленных данных настоящих исследований, а также работ авторов [6] и из обобщения результатов испытаний, накопленных при оценке морозостойкости бетона в изделиях в НИИЛ бетонов и строительных материалов БНТУ, выполненных (и выполняемых в настоящее время) с участием авторов. Из них следует, что, обеспеченным уровнем морозостойкости вибропрессованных элементов мощения, средняя плотность бетона которых была  $\rho_o \geq 2250 \text{ кг/м}^3$  при водопоглощении  $W_m < 5\%$  для мелкозернистого бетона и  $\rho_o \geq 2350 \text{ кг/м}^3$  при  $W_m < 4,5\%$  для бетона со щебнем, целесообразно считать показатель морозостойкости, соответствующий 300-ам циклам испытаний по 2-му методу контроля. Этот вывод сделан как на основании экспериментальных данных, полученных при разработке методики для оценки «остаточной» морозостойкости и долговечности бетона эксплуатируемых дорожных (тротуарных) покрытий [6÷9], так и по накопленным данным натурных испытаний вибропрессованных изделий. Было установлено, что после снижения прочности основных образцов испытываемого бетона на  $\geq 5\%$  (ГОСТ 10060.0-95) в процессе испытаний мелкозернистый бетон образцов (изделий) с указанными ранее качественными характеристиками даже через 400 циклов характеризовался прочностью более 30 МПа, а со щебнем гранитным – более 35 МПа, при удовлетворительном качестве поверхности образцов (изделий). Поэтому в предлагаемой ускоренной методике оценки морозостойкости нами принята шкала, ограниченная 300-ми циклов испытаний в солевой среде, обеспечиваемыми качественно отформованным вибропрессованным бетоном.

Выявленные в данных исследованиях закономерности «поведения» бетона при циклических испытаниях на морозостойкость были положены в основу предлагаемой методики ускоренной оценки этой его характеристики и разработанных графических зависимостей, приведенных на рисунке 1 и рисунке 2 для ее установления.

**Заключение.** Предложенная методика ускоренного контроля (оценки) морозостойкости тяжелого (мелкозернистого и содержащего крупный заполнитель) бетона для бетонных элементов дорожных (тротуарных) покрытий позволяет за 5 суток определить эту его характеристику. Принятый для оценки характеристик испытываемого бетона (изделий) инструментальный неразрушающий контроль для определения влажности бетона и скорости ультразвука стандартизирован и доступен, что обеспечивает возможность ее широкого применения. В частности, для оперативной оценки морозостойкости бетона предприятиями, выпускающими тротуарные плиты, бортовой камень и другие элементы благоустройства (мощения). Этот вывод обоснован апробацией разработки с использованием изделий предприятий г. Минска, подтвердившими положительный результат произведенной оценки их продукции. Одновременно проверка морозостойкости изделий ряда предприятий по предлагаемой методике ускоренного контроля показала недостаточный ее уровень. При этом практически совпали данные по количеству циклов замораживания – оттаивания, полученные с помощью данной методики, с результатами непосредственных стандартизированных испытаний изделий на морозостойкость. Разница в количестве циклов составила не более 6%, а при переходе от числа циклов к марке по морозостойкости имелось полное соответствие при определении по стандартному методу и предлагаемой методике. Это свидетельствует о возможности ее применения, как варианта оперативного контроля морозостойкости бетона на стадии производства изделий.

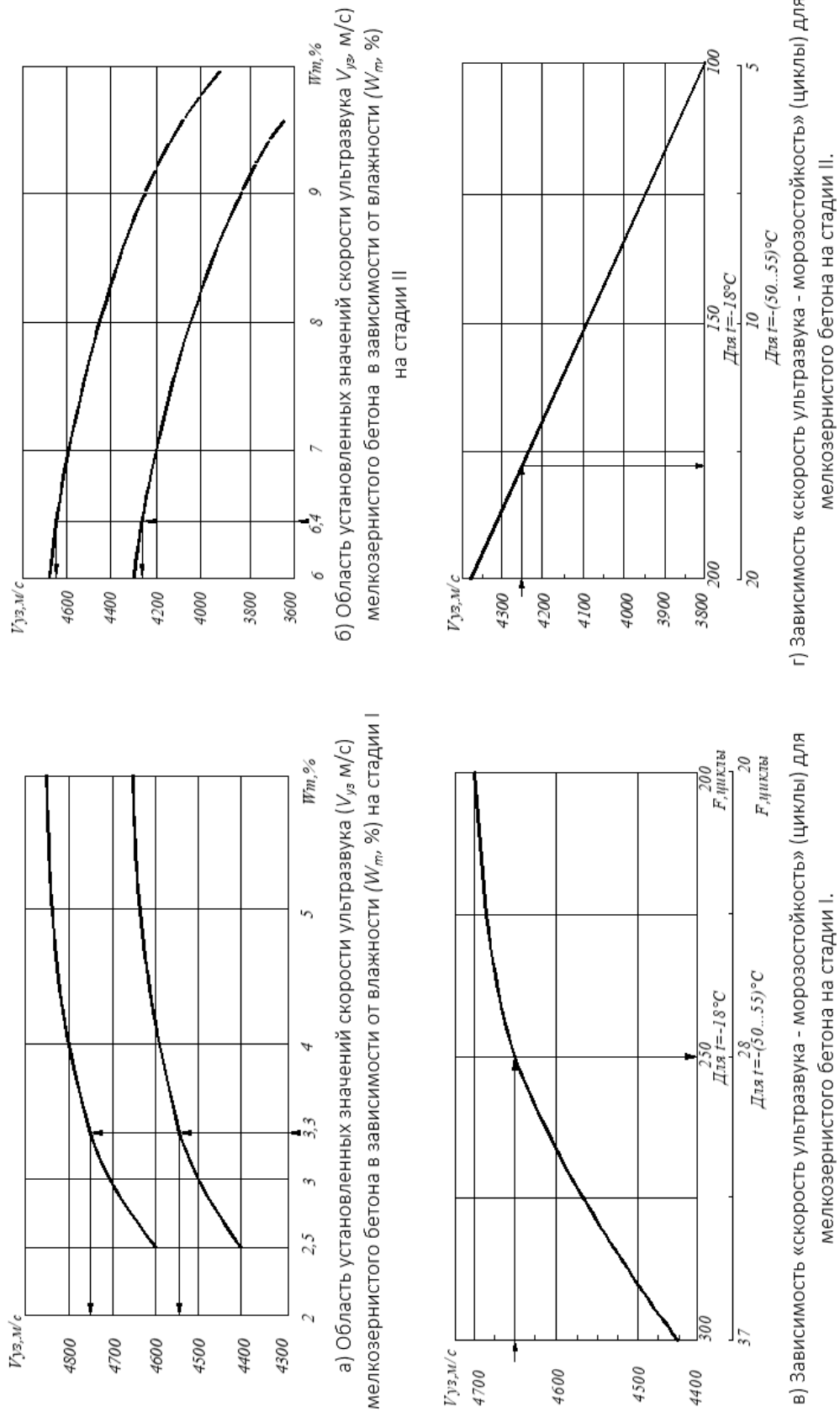
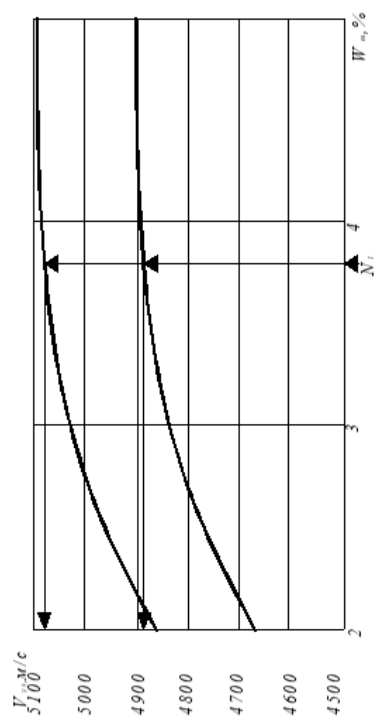
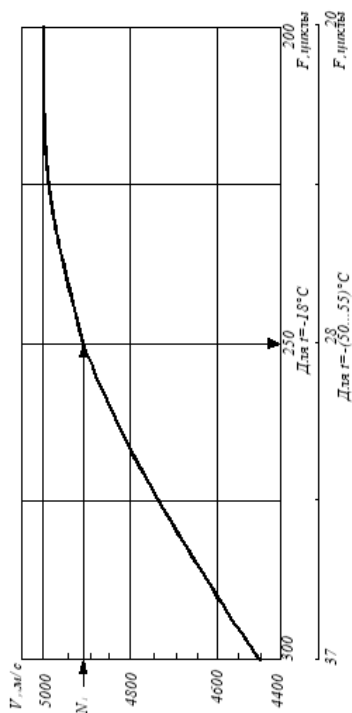


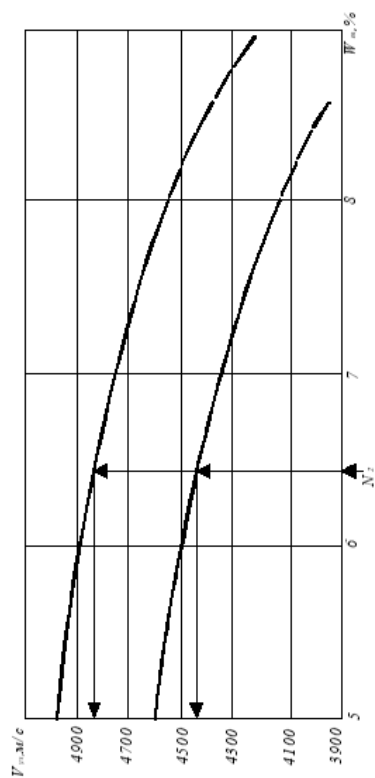
Рисунок 1. – Графические зависимости для оценки морозостойкости вибропрессованного мелкозернистого бетона



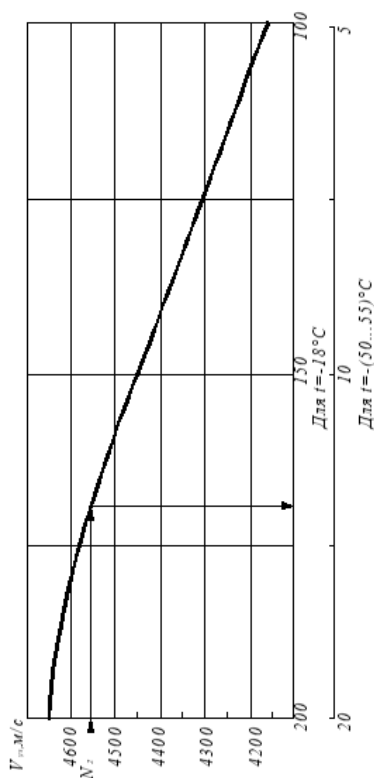
а) Область установленных значений скорости ультразвука ( $V_{уз}$  м/с) вибропрессованного бетона с крупным заполнителем в зависимости от влажности ( $W_m$ , %) на стадии I.



в) Зависимость «скорость ультразвука - морозостойкость» (циклы) для вибропрессованного бетона с крупным заполнителем на стадии I.



б) Область установленных значений скорости ультразвука ( $V_{уз}$  м/с) вибропрессованного бетона с крупным заполнителем в зависимости от влажности ( $W_m$ , %) на стадии II.



г) Зависимость «скорость ультразвука - морозостойкость» (циклы) для вибропрессованного бетона с крупным заполнителем на стадии II.

Рисунок 2. – Графические зависимости для оценки морозостойкости вибропрессованного бетона с крупным заполнителем

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков, Г.И., Капкин, М.М., Скрамтаев, Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
2. Блещик, Н.П., Лазаренко, О.В. Основы технологии и методов контроля качества морозостойкости бетонов // Архитектурное строительство. 2001, №6. – С. 38– 41.
3. Бабицкий, В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона: Дис. докт. техн. наук: БНТУ. – Минск, 2005. – С. 118 – 131.
4. Шейкин, А.Е., Добшиц, Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. – Л.: Стройиздат, 1989. – 128 с.
5. Ковшар С.Н. Оценка и прогнозирование морозо –и солестойкости тяжелого бетона с учетом изменения конструктивных и деструктивных факторов: Дис... канд. техн. наук: 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Мн., 2010. – 175с.
6. Батяновский, Э.И. Оценка эксплуатационной долговечности тяжелого бетона по критерию «остаточной» морозостойкости / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович// Автомобильные дороги и мосты, 2010. – № 2(6). – С. 49-59.
7. Батяновский Э.И. Влияние многократных механических нагрузок на свойства тяжелого бетона / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович, П.В. Рябчиков // Строительная наука и техника, 2007. – № 1-10. – С. 12-22.
8. Батяновский Э.И. Морозо- и солестойкость бетона, подверженного механическим нагрузкам / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович// Вестник БНТУ, 2008. – № 4. – С. 5– 16.
9. Бондарович, А.И. Влияние комплексного воздействия эксплуатационной среды и механических нагрузок на динамику изменения свойств бетона элементов благоустройства/ А.И. Бондарович, Э.И. Батяновский // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства: материалы научно-методического семинара (Минск, 22-23 мая 2013 г.): сб. науч. статей науч.-метод. семинара. в 2-х частях. - Минск: БНТУ, 2013. – Ч. 2. – С.28– 39.

УДК 691.1

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОН КОРЫ ЭВКАЛИПТА

**Р.Л. Обромпальский, А.А. Бакатович**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: r.abrampalski@psu.by, a.bakatovich@psu.by

*В работе обобщён зарубежный и отечественный опыт получения теплоизоляционных материалов волокнистой структуры. Исследовано влияние влажности коры эвкалипта на фракционный состав волокон получаемых при измельчении сырьевого материала. Установлено влияние плотности и фракции волокон на теплопроводность волокнистой структуры. Получены значения коэффициента теплопроводности структуры из волокон коры эвкалипта в пределах 0,049–0,062 Вт/(м·°С), при плотности 50–220 кг/м<sup>3</sup>. Наилучший показатель коэффициента теплопроводности равный 0,049 Вт/(м·°С) достигается при плотности 70–90 кг/м<sup>3</sup> на средней фракции структурообразующего материала.*

**Ключевые слова:** теплоизоляционный материал, волокна эвкалипта, плотность, влажность, теплопроводность.

## THERMAL INSULATION COMPOSITES BASED ON EUCALYPTIC BAR FIBERS

**R. Obrompalsky, A. Bakatovich**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: r.abrampalski@psu.by, a.bakatovich@psu.by

*The paper summarizes the foreign and domestic experience in obtaining heat-insulating materials of a fibrous structure. The effect of humidity of the eucalyptus bark on the fractional composition of the fibers obtained by grinding raw material is studied. The effect of fiber density and fraction on the thermal conductivity of the fibrous structure is established. The values of the thermal conductivity coefficient of the structure of the fibers of the eucalyptus bark were obtained in the range of 0,049–0,062 W/(m·°C), at a density of 50–220 kg/m<sup>3</sup>. The best indicator of the coefficient of thermal conductivity equal to 0.049 W/(m·°C) is achieved at a density of 70–90 kg/m<sup>3</sup> in the middle fraction of the structure-forming material.*

**Keywords:** heat-insulating material, eucalyptus fibers, density, humidity, thermal conductivity.

**Введение.** В последние годы по всему миру наблюдается рост потребности в энергетических ресурсах, что вызывает увеличение уровня загрязнения окружающей среды и выбросов парниковых газов [1]. Согласно оценке программы ООН по окружающей среде [2], здания потребляют примерно 30–40 % мировых энергетических ресурсов, 25 % всего объёма воды, а также выбрасывают в атмосферу одну треть от мирового объёма выбросов парниковых газов.

Значительно повлиять на снижение потребления энергии зданиями возможно благодаря применению эффективного теплоизоляционного материала. Материалы традиционно используемые для теплоизоляции зданий получены из нефтехимических продуктов (в основном полистирола) или из сырья природного происхождения со значительными энергозатратами (стеклянная и каменная вата). Соответственно одной из важных задач строительного производства, на современном этапе, является повышение эффективности разрабатываемых утеплителей и обеспечение экологической чистоты. В странах Европы и России особое внимание уделяется технологии получения теплоизоляционных материалов содержащих волокна растительного происхождения [3]. Использование утеплителей на волокнистом сырье природного происхождения способствует значительной экономии топливно-энергетических ресурсов, снижению себестоимости и повышению экологичности выпускаемой продукции.

Теплоизоляционные материалы на основе натуральных органических волокон являются перспективной альтернативой неорганическим волокнам благодаря большому разнообразию и доступности источников волокон, низкой плотности, хорошим акустическим и теплоизоляционным свойствам [4]. Результаты многих исследований подтверждают техническую и экологическую конкурентоспособность теплоизоляционных материалов на основе растительных волокон: конопли [5], рогоза [6], льна [7, 8], коры эвкалиптах [9–13].

К основным странам, занимающимся производством технической конопли относятся: Китай, Франция, Чили, Нидерланды, Германия, Литва и Украина. Волокна из конопли используют в текстильной промышленности, а также в конструкциях зданий в виде теплоизоляционных материалов. В Германии компанией «Носк» производится утеплитель марки «Thermo-Hanf» из волокон конопли. Данный утеплитель реализован в виде плит или рулонов толщиной от 30 до 110 мм. В состав теплоизоляционного материала входит: 83-87 % волокон конопли, 10–12 % полиэстера, 3–5 % антипирена (сода). Значения коэффициента теплопроводности находятся в пределах 0,038–0,04 Вт/(м·°С) при плотности 35–40 кг/м<sup>3</sup>. К преимуществам данного материала можно отнести легкость монтажа, устойчивость к плесени и гниению. Недостатками является низкая жесткость по причине малой плотности и высокая себестоимость производства продукции [5].

Рогоз относится к растениям принадлежащих роду *Typha* (лат.), считается сорняком и оказывает негативное влияние на другие растения. К ареолу произрастания относятся тропические районы Юго-Восточной Азии и Тихоокеанского региона Северной Америки. В университете Касетсарт (Таиланд) предложено производить теплоизоляционные плиты из листьев рогоза измельченных до состояния волокна с использованием в качестве связующего метиленового дифенил диизоцианата. При плотности от 200 до 400 кг/м<sup>3</sup> теплопроводность панелей составляет от 0,044 до 0,061 Вт/(м·°С) [6]. Данный материал характеризуется высокой плотностью и жесткостью, что позволяет расширить область его применения. К недостаткам можно отнести токсичность метиленового дифенил диизоцианата, являющегося аллергеном.

Распространённой сельскохозяйственной культурой в умеренных зонах Европы, Северной Африки, Азии, а также Северной Америки является лён. На его основе произ-

водят товары различного назначения, в том числе и теплоизоляционные материалы. Белорусская компания ОАО «АКОТЕРМ ФЛАКС» производит теплоизоляционные плиты на основе льноволокна, связующим компонентом выступает полиэфирное волокно, равномерно распределённое по всему объёму структуры. Плиты толщиной от 20 до 200 мм, применяют для утепления стен и перекрытий в малоэтажном строительстве. При плотности плит  $30 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности составляет  $0,038\text{--}0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . Утеплитель рассчитан на срок службы не менее 70 лет [7]. Основной недостаток плит – горючесть с выделением запаха от полиэфирного волокна.

Так же на основе волокон льна в России выпускаются плиты «Экотеплин». Связующим веществом является обычный крахмал, а для огне- и биозащиты используется пропитка – соль бора. Плиты толщиной 50 и 100 мм при плотности  $32\text{--}34 \text{ кг/м}^3$  обеспечивают теплопроводность в пределах  $0,038\text{--}0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  [8]. Утеплитель имеет высокую стоимость, а также технологические особенности формования не позволяют производить жёсткие плиты.

Посадки эвкалипта занимают вторые по значимости промышленные лесные плантации в мире, общая площадь которых в 2012 году составляла 14,1 млн. га (26 % от общей площади суши). При этом самая высокая доля посадок приходится на Европу, за ней следует Азия и Латинская Америка [9]. По причине быстрого роста и высокого качества древесного волокна эвкалипты являются ценным сырьём для целлюлозно-бумажной промышленности [10]. В результате использования эвкалипта в промышленных масштабах, образуется значительное количество коры, сжигаемой в дальнейшем для производства энергии. Утилизация коры путём сжигания не является рациональным решением по сравнению с другими видами топлива так как обладает низкой теплотворной способностью равной  $13,34 \text{ МДж/кг}$  [11]. Для эвкалипта характерен быстрый рост в первые 10-15 лет жизни. К десяти годам высота дерева достигает 20–25 м при диаметре ствола 25–30 см. В процессе жизненного цикла рост коры не успевает за развитием дерева и в результате происходит естественный ежегодный сброс коры у всех видов эвкалипта [12].

Исследование по применению коры эвкалипта в виде заполнителя для теплоизоляционных материалов проводилось в университете Консепсьона (Чили). Сырьём для теплоизоляционных плит служили волокна коры эвкалипта длиной более 20 мм, измельчённые механическим способом. Связующим компонентом являлась 10% фенолформальдегидная смола. Коэффициент теплопроводности утеплителя варьировался в пределах  $0,052\text{--}0,07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  при плотности  $80\text{--}250 \text{ кг/м}^3$  и толщине плит равной 50 мм [13]. Отмечалось, что полученные композиции имеют низкую стойкость к появлению плесени и обладают горючестью. Кроме этого применение синтетической смолы на основе фенолформальдегида оказывает негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

**Экспериментальная часть:** В настоящее время в лаборатории теплоизоляционных материалов Полоцкого государственного университета, совместно с учеными из политехнического института г. Лейрия (Португалия) проводятся исследования, направленные на получение утеплителя на основе волокон коры эвкалипта. В качестве исходного сырья применяется кора эвкалиптов, произрастающих на территории Португалии (рис. 1).



Рисунок 1. – Кора эвкалипта



Рисунок 2. – Измельчённая кора крупной фракции

Кора измельчалась механическим способом с использованием зернодробилки «Эликор 1». В процессе измельчения коры с естественной влажностью 5–6 % наблюдалась сильная запылённость и образование пыли в количестве 10–12 % от общей массы материала. Для устранения данной проблемы кору предварительно смачивали до влажности 20–30%. После измельчения пыльная фракция не превышала 2–3 % и визуально отмечалось увеличение количества тонких волокон средних размеров. Затем волокнистая масса подвергалась фракционированию через сита с размерами ячеек в диаметре 5, 2 мм. Полученные крупная, средняя и мелкая фракции кроме размеров в поперечном сечении отличались и по длине. Длина волокон крупной фракции соответствует 15–40 мм (рис. 2), средней – 8–15 мм и мелкой – 3–8 мм. По результатам фракционирования процентное содержание волокон по фракциям составило: крупная 30–40 %, средняя 20–30 % и мелкая 25–35 %.

На начальном этапе ставилась задача по определению влияния фракции и плотности измельченной коры на теплопроводность волокнистого массива, не содержащего вяжущее вещество. Определение коэффициента теплопроводности фракционированных волокон проводили на приборе «ИТП МГ 4». Волокна засыпались в камеру прибора и фиксировали крышку. Отмечается, что волокна обладают высокой способностью к сцеплению между собой с образованием связной структуры сохраняющей форму.

В результате получены зависимости изменения коэффициента теплопроводности от средней плотности волокон, по фракциям (рис. 3). При варьировании плотности 50–220 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности изменяется в диапазоне от 0,049 до 0,062 Вт/(м·°С).

Для крупной фракции волокон эвкалипта при плотности 50 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности равен 0,062 Вт/(м·°С). При постепенном увеличении средней плотности и достижении 140 кг/м<sup>3</sup> происходит снижение коэффициента теплопроводности на 19,4 % до 0,05 Вт/(м·°С). Повышение коэффициента теплопроводности равного 0,056 Вт/(м·°С) на 12 % наблюдается при наибольшей плотности 220 кг/м<sup>3</sup>.



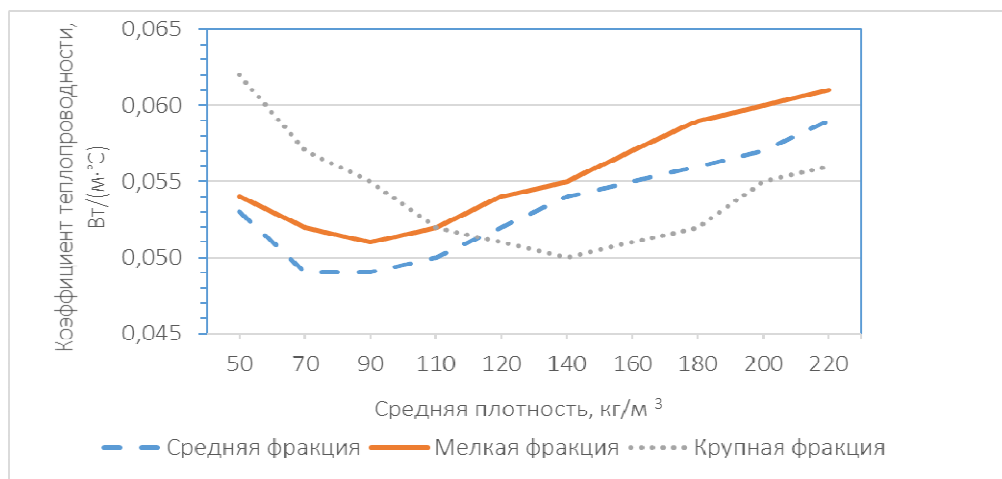


Рисунок 3. – Зависимость коэффициента теплопроводности от плотности волокон эвкалипта

При изучении показателей средней фракции волокон установлено, что для минимальной плотности 50 кг/м³ коэффициент теплопроводности соответствует 0,053 Вт/(м·°С). Уменьшение коэффициента теплопроводности до 0,049 Вт/(м·°С) зафиксировано при плотности 70 кг/м³. Данный показатель теплопроводности сохраняется и для структуры с плотностью 90 кг/м³. Для максимальной средней плотности 220 кг/м³ прирост коэффициента теплопроводности составил 20,4 % и достиг значения 0,059 Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности волокон эвкалипта мелкой фракции плотностью 50 кг/м³ равен 0,054 Вт/(м·°С). Минимальный показатель теплопроводности соответствует 0,051 Вт/(м·°С) при плотности 90 кг/м³. Последующее постепенное возрастание плотности волокнистой структуры способствует повышению коэффициента теплопроводности. Так при плотности 220 кг/м³ коэффициент теплопроводности волокон эвкалипта равен 0,061 Вт/(м·°С), то есть на 19,6 % превышает минимальный показатель.

**Заключение.**

1. Предварительное исследование коры эвкалипта позволяет сделать вывод, что на основе волокон возможно получение структурообразующего материала для производства утеплителей на природном сырье.
2. Применение коры эвкалипта с влажностью 20–30 % при измельчении снижает количество получаемой пыли в 4–5 раз и способствует увеличению средней фракции до 20–30 % в общей массе волокон.
3. Наилучший показатель теплопроводности обеспечивает средняя фракция волокон коры эвкалипта. При плотности 70–90 кг/м³ коэффициент теплопроводности волокон коры эвкалипта составляет 0,049 Вт/(м·°С)
4. В дальнейших исследованиях возможно введение второго растительного компонента с целью дополнительного снижения коэффициента теплопроводности структурной композиции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Building and Construction Sector [Electronic resource] / Global Status Report, 2018. – Mode of access: <https://www.worldgbc.org/news->

- media/2018-global-status-report-towards-zero-emission-efficient-and-resilient-buildings-and. – Date of access: 27.11.2019.
2. Environment for development [Electronic resource] / United Nation Environment Programme. – Mode of access: <http://www.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp>. – Date of access: 27.11.2019.
  3. Давыденко, Н.В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Н.В. Давыденко. – Новополюцк, 2016. – 1 с.
  4. Asdrubali, F. A review of unconventional sustainable building insulation materials. / Asdrubali, F., Alessandro, F.D., Schiavoni, S. // International Journal «Sustainable Materials and Technologies» (Elsevier) – 4 (2015) – p. 1–17.
  5. Термо-Нанф (Германия) – экологический утеплитель из конопли [Электронный ресурс] / сайт «Центр экоматериалов» – Режим доступа: [http://www.center-eko.ru/index/uteplitel\\_iz\\_konopli\\_thermo\\_hanf\\_germanija/0-5/](http://www.center-eko.ru/index/uteplitel_iz_konopli_thermo_hanf_germanija/0-5/) - Дата доступа: 27.11.2019
  6. Luamkanchanaphan, T. A Study of Physical, Mechanical and Thermal Properties for Thermal Insulation from Narrow-leaved Cattail Fibers/ T. Luamkanchanaphan, S. Chotikaprakhan S. Jarusombati // International Journal « International Conference on Environmental Science and Development » (Elsevier) – 1 (2012) – p. 46–52.
  7. ОАО «АКОТЕРМ ФЛАКС» [Электронный ресурс] / сайт компании ОАО «Акотерм Флак» – Режим доступа: <http://akoterm-flaks.deal.by/> – Дата доступа: 27.11.2019 г;
  8. Обзор Экотеплина [Электронный ресурс] / сайт «TutKnow.ru» - Режим доступа: <http://tutknow.ru/building/uteplenie/6610-obzor-ekoteplina.html> / – Дата доступа: 16.02.2020;
  9. Strategic Review on the Future of Forest Plantation [Electronic resource] / Forest Stewardship Council. – Mode of access: <http://www.fao.org/forestry/42701-090e8a9fd4969cb334b2ae7957d7b1505.pdf> – Date of access: 27.11.2019.
  10. Jorge, F. Variability of fibre length in wood and bark in Eucalyptus globulus / F. Jorge, T. Quilho and H. Pereira, // IAWA Journal – 21 (2000) p.41–48.
  11. Arteaga-Pérez, L. Torrefaction of wood and bark from Eucalyptus globulus and Eucalyptus nitens: Focus on volatile evolution vs feasible temperatures / L. Arteaga-Pérez, C. Segura, V. Bustamante-García and O. J. R. Cápiro, // International Journal «Energy» (Elsevier) – 93 (2015) – p. 1731–1741.
  12. Learn about eucalypts [Electronic resource] /. Euclid: Centre for Australian National Biodiversity. – Mode of access: <http://keyserver.lucidcentral.org:8080/euclid/data/02050e02-0108-490e-8900-0e0601070d00/media/Html/learn.htm>. – Date of access: 27.11.2019.
  13. Fuentealba, C. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus. / C. Fuentealba, J. Salazar, J. Vega-Lara, J. Norambuena-Contreras // The 13th Pacific Bim Bio-Based Composites Symposium "Bio-based composites for a sustainable future", Concepcion, Chile, 13–15 November, 2016 // University of Concepcion. – Concepcion, 2016, p. 46 – 50.

УДК 666.973.2

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ ИЗ ЛЬНЯНЫХ ОЧЁСОВ

*С.А. Романовский, А.А. Бакатович*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: s.romanovskiy@psu.by, a.bakatovich@psu.by

*Рассмотрены теплоизоляционные материалы на основе волокон растительного происхождения. Представлены результаты исследований эксплуатационно-технологических характеристик теплоизоляционных плит на основе очёсов льна. Установлено, что утеплитель из очёсов хорошо подвергается разрезу ножом с острым лезвием, а также распилу угловой шлифмашиной и циркулярной пилой. Входные отверстия для крепления плит к стеновому ограждению при помощи дюбель-гвоздей возможно получить, применяя стальной или полимерный заостренный стержень необходимого диаметра. Исследования по огнестойкости показали, что утеплитель не воспламеняется под воздействием огня, происходит вытлевания волокон очёсов льна. Материал относится к группе горючести Г4 и обладает малой дымообразующей способностью.*

**Ключевые слова:** очёсы волокна льна, теплоизоляционные плиты, эксплуатационно-технологические характеристики.

## TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF HEAT INSULATION PLATES BASED ON FLAX NOILS

*S. Romanovskiy, A. Bakatovich*

Polotsk state university, Republic of Belarus

e-mail: s.romanovskiy@psu.by, a.bakatovich@psu.by

*Thermal insulation materials based on fibers of plant origin are considered. The results of studies of the operational and technological characteristics of heat-insulating boards based on flax noils are presented. It has been established that the insulation from the noils is well subjected to cutting with a knife with a sharp blade, as well as to cutting with an angle grinder and a circular saw. The inlets for fixing the plates to the wall enclosure with dowels can be obtained using a steel or polymer pointed rod of the required diameter. Fire resistance studies have shown that the insulation does not ignite under the influence of fire, the fibers of the flax noils out. The material belongs to the G4 combustibility group and has a low smoke-forming ability.*

**Keywords:** flax fiber noils, heat-insulating plates, operational and technological characteristics.

**Введение.** В строительной отрасли к особенно актуальным направлениям в настоящее время относится использование отходов производства, экономия и совершенствование строительных материалов. Вызывает интерес применение волокнистых отходов

растительного происхождения в производстве строительных материалов. Значительные объемы волокнистых отходов образуется в сельскохозяйственной отрасли. Одним из путей рационального использования сельскохозяйственного вторичного сырья волокнистой структуры в строительной отрасли является производство теплоизоляционных материалов. Высокая эффективность теплоизоляционных плит на основе волокон и практически неограниченная сырьевая база дают право рассматривать развитие производства таких утеплителей как одно из важнейших направлений в освоении новых прогрессивных строительных материалов.

Многочисленные исследования по разработке теплоизоляционных материалов на волокнистых растительных заполнителях ведутся в различных странах. В Германии производят утеплитель «Thermo-Hanf», включающий 83–87% волокон конопли и 10–12% полиэстера [1, 2]. Соду в количестве 3–5% от общей массы добавляют в качестве антипирена. При плотности 35–40 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности материалов составляет 0,038–0,04 Вт/(м·°С).

Для Туркменистана и других стран Центральной Азии инновационной разработкой является эффективный изоляционный материал в виде полужестких плит на основе отходов хлопковых волокон и жидкого натриевого стекла [3]. Утеплитель обладает теплопроводностью 0,037–0,039 Вт/(м·°С) при средней плотности 40–90 кг/м<sup>3</sup>.

Среди представленных на рынке теплоизоляционных материалов из древесных волокон в основном преобладает продукция иностранных компаний – STEICO (Германия – Польша), GUTEX (Германия) и Skano Group (Эстония) [4]. Производители из России также осваивают технологию производства данных утеплителей. Теплоизоляционные плиты имеют плотность 150–250 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 0,06 Вт/(м·°С) и прочность при изгибе 0,5–1,2 МПа [5].

Значительный интерес для Малайзии и других стран с жарким климатом является изоляционный материал, содержащий волокна коры масличной пальмы [6]. В качестве вяжущего используется модифицированное жидкое стекло. Средняя плотность плит равна 142–170 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность составляет 0,046–0,047 Вт/(м·°С), обеспечивая прочность на сжатие при 10-ой деформации 0,22–0,24 МПа.

Природный антисептик – мох сфагнум в работе [7] рассматривается как основной компонент утеплителя. Натриевое жидкое стекло применяется в виде связующего. При плотности 155–170 кг/м<sup>3</sup> материал обладает теплопроводностью 0,034–0,04 Вт/(м·°С). Значительные усадочные деформации плит в процессе сушки является основным недостатком данного утеплителя. При замене 20–30% мха дроблёной соломой данная проблема устраняется без существенного увеличения коэффициента теплопроводности [8].

К известным разработкам теплоизоляционных материалов на основе льняных волокон относятся **плиты «Экотеплин», производимые в России**. Связующим компонентом является крахмал. **Соли бора используются в качестве огне- и биозащиты** [9]. **Теплоизоляционные плиты характеризуются следующими характеристиками: средняя плотность 32–34 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 0,037 Вт/(м·°С), паропроницаемость – 0,4 мг/(м·ч·Па), группа горючести – Г1 (слабогорючий материал).**

В Беларуси компания «Акотерм флакс» предлагает теплоизоляционные материалы, **содержащие в составе льняные волокна в количестве 85%**. Синтетические волокна

используются как связующий материал массой 15% [10]. Теплопроводность «Акотерм флакс» равна 0,038–0,04 Вт/(м·°С), показатель паропроницаемости составляет 0,4 мг/(м·ч·Па) при плотности 32 кг/м<sup>3</sup>. Утеплитель является сильногорючим материалом.

Наибольшим недостатком существующих волокнистых теплоизоляционных материалов на растительном сырье является отсутствие обеспечения одновременно высоких теплофизических свойств и эксплуатационно-технологических показателей. Основываясь на указанных критериях, создание новых эффективных утеплителей волокнистой структуры растительного происхождения является актуальным направлением в промышленности изоляционных материалов. При этом, особое внимание необходимо уделять получению теплоизоляционных плит, экологически безопасных для человека и окружающей среды.

**Основная часть.** Начиная с 2016 года в лабораториях кафедры строительного производства Полоцкого государственного университета производятся комплексные исследования по разработке утеплителя со структурообразующим материалом из очёсов волокна льна. Теплоизоляционные плиты на основе очёсов, содержащие натриевое жидкое стекло и добавки из извести и гипса, обладают следующими физико-механическими характеристиками: средняя плотность 40–150 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 0,034– 0,047 Вт/(м·°С), прочность на сжатие при 10% деформации 1,5–8 кПа. Материалы являются экологически чистыми и безопасными для жизнедеятельности человека, расширяют номенклатуру эффективных утеплителей и решают проблему утилизации растительных отходов льнопереработки.

После определения основных физико-механических свойств образцов из очесов выполнены исследования по изучению эксплуатационно-технологических характеристик теплоизоляционных материалов. Первоначально проведён эксперимент на возможность резки и распиливания утеплителя различными видами режущего и пилящего инструмента, так как при укладке теплоизоляционного материала существует необходимость в доборных элементах или подрезки плит. Экспериментальные образцы размером 1000×500×100 мм подвергались разрезки в поперечном сечении. Результаты опытных разрезов и распилов показали, что утеплитель на основе очёсов волокна льна одинаково хорошо подвергается разрезу ножом с острым лезвием, а также распилу угловой шлифмашиной и циркулярной пилой (рис. 1).



Рисунок 1. – Резка ножом плиты из льняных очёсов

К положительным характеристикам теплоизоляционного материала из льняных очёсов относится отсутствие пыли в виде мелких частиц утеплителя во время резки или распиливания. Грани по разрезу имеют сплошную поверхность без видимых поврежденных структур утеплителя (рис. 2).



Рисунок 2. – Грань плиты по разрезу в поперечном направлении

При устройстве вентилируемого фасада крепление теплоизоляционных материалов производится при помощи дюбель-гвоздей. Тип, длина и расположение дюбелей определяется в зависимости от толщины плит и состояния утепляемой стены. Плотность материала из льняных очёсов позволяет получать отверстия для дюбель-гвоздей используя стальной или полимерный заостренный стержень необходимого диаметра без нарушения структуры плиты вокруг отверстия. На рисунке 3 показано крепление утеплителя к кирпичной стене для проведения натуральных испытаний образцов-плит при устройстве вентилируемой системы фасада здания жилого дома.



Рисунок 3. – Крепление утеплителя к кирпичной стене

Положительное влияние на сохранность теплоизоляционных плит при наличии мелких грызунов оказывает присутствие натриевого жидкого стекла. Постоянный мониторинг состояния утеплителя в процессе проведения натуральных испытаний чердачного перекрытия (рис. 4) показывает, что мелкие грызуны не оказывают вредного воздействия на теплоизоляционный материал из льняных очёсов.



**Рисунок 4. – Внешний вид теплоизоляционных плит из льняных очёсов на чердачном перекрытии жилого дома после зимнего сезона 2019 г.**

Способность материала сопротивляться воздействиям огня при пожаре в течении определенного времени является одной из важнейшей эксплуатационной характеристикой теплоизоляционных плит. Испытания на огнестойкость проводили на фрагментах плит размером 500×190×100 мм. В процессе проведения испытания по определению огнестойкости образцов на основе очёсов, утеплитель в течении 30 минут непрерывно подвергался прямому воздействию огня (рис. 5). Теплоизоляционный материал в результате воздействия открытого пламени не воспламенялся, а происходило вытлевание под влиянием высоких температур. При осмотре материала после проведения испытания установлено, что в зоне воздействия огня произошло вытлевание волокон на глубину 80 мм. Диаметр вытлевшего участка составил 6 см (рис. 6). Необходимо отметить, что после устранения источника огня утеплитель не горел, но наблюдалось медленное тление материала на протяжении 4 часов, в результате чего большая часть материала подверглась разрушению. В процессе тления плиты дымообразования не наблюдалось.



**Рисунок 5. – Воздействие огня на плиту из очёсов во время испытания**



**Рисунок 6. – Внешний вид плиты после воздействия открытого пламени**

Негорючесть теплоизоляционного материала из очёсов льна объясняется наличием в составе утеплителя связующего из натриевого жидкого стекла. В процессе изготовления на стадии перемешивания компонентов утеплителя вяжущее образует сплошную оболочку вокруг волокон льняных очёсов, препятствующую возгоранию волокнистого структурообразующего материала при воздействии огня. При повышении температуры жидкое стекло переходит в вязко-текучее состояние и образует пористую структуру в результате вспучивания.

Испытания по определению группы горючести и дымообразующей способности проводили в Гродненском областном управлении МЧС Республики Беларусь. Для определения группы горючести предварительно изготавливались образцы – балки размером 1000×190×50 мм. Дымообразующую способность исследовали на заранее подготовленных образцах – плитках размером 40×40×10 мм.

По результатам испытаний в соответствии с протоколом № 101 от 02.09.2019 года плиты теплоизоляционные из льняных очёсов в соответствии с ГОСТ 30244 относятся к группе горючести Г4. Однако, в протоколе отмечается, что материал самостоятельно не горит, а продолжительность самостоятельного тления составляет 6,5 часов. Согласно этого же протокола испытаний утеплитель относится к группе материалов с малой дымообразующей способностью Д1 по ГОСТ 12.1.044.

Для сравнения проведены испытания по определению огнестойкости теплоизоляционных плит на основе смеси льняных и полиэфирных волокон торговой марки «Акотерм флакс», также имеющих группу горючести Г4. В процессе эксперимента под воздействием открытого огня в течении 3 минут верхняя часть образца утеплителя воспламенилась и разрушилась (рис. 7). Затем газовую горелку затушили, но теплоизоляционные плиты продолжали самостоятельно гореть и тлеть (рис. 8) с выделением едкого дыма по причине присутствия в составе утеплителя полиэфирных волокон. Образец теплоизоляционной плиты марки «Акотерм флакс» полностью сгорел за 27 минут.



Рисунок 7. – Воздействие огня на плиту «Акотерм флакс» во время испытания



Рисунок 8. – Горение плиты после устранения открытого пламени



В ходе проведения эксперимента на огнестойкость установлено, что теплоизоляционные плиты, относящиеся к группе сильногорючих материалов, имеют различное поведение в процессе горения. Так, утеплитель из очёсов волокна льна, имеющий такой же показатель горючести как и плиты «Акотерм флакс», является более безопасным для человека и окружающей среды. В случае возникновения пожара в здании, утепленном плитами на основе очёсов, у людей будет возможность эвакуироваться, при этом вероятность отравления токсичными газами существенно снизится. При возгорании материала «Акотерм флакс» шансы на спасение людей значительно сокращаются по причине быстрого распространения огня по утеплителю и выделению едкого дыма.

Заключение: Проведенные исследования теплоизоляционных плит на основе очёсов льна показали, что утеплитель одинаково хорошо разрезается ножом с острым лезвием, а также распиливается угловой шлифмашинкой и циркулярной пилой. Крепление теплоизоляционного материала к стеновому ограждению может производиться при помощи дюбель-гвоздей. Отверстия для дюбелей возможно выполнять при помощи заостренного стального или полимерного стержня необходимого диаметра.

В процессе исследования установлено, что утеплитель на основе льняных очёсов относится к группе горючести Г4 и обладает коэффициентом дымообразования Д1. Воздействие открытого пламени не вызывает возгорания утеплителя, происходит только вытлевание волокон очёсов утеплителя в течении длительного периода времени.

Эксперименты подтвердили возможность технологической обработки и крепежа теплоизоляционных плит на основе очёсов, а также эксплуатационную безопасность при обеспечении высоких теплотехнических характеристик утеплителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Якунина, Е.А. Современные теплоизоляционные материалы, как одна из тенденций экологического строительства / Е.А. Якунина // Международный научный журнал «Синергия наук». – 2018. – № 24. – С. 625–634
2. Богатова, Т.В. Преимущества и особенности безопасных природных утеплителей / Т.В. Богатова, А.И. Двойцина // Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 3–4. – С. 14–19
3. Rozyev, M Thermal insulation material, using waste cotton production as a placeholder / M. Rozyev, A. Bakatovich // European & national dimension in research. Architecture and civil engineering. – 2019. – № 11. – PP. 64–66;
4. Сергиенко, А.В. Современный экологичный утеплитель на основе древесных волокон / А.В. Сергиенко, И.В. Яцун // Научные исследования. – 2017. – Том 2. № 6 (17). – С. 6–7;
5. Журавлева, Л.Н. Мягкие древесно-волоконистые плиты – теплоизоляционный материал / Л.Н. Журавлева, А.Н. Девятловская // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 11. – С. 181–184;
6. Romanovskiy, S. Insulating material on the basis of bark fibre of the olive palm tree / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // IX junior researchers' conference «European and national dimension in research. – 2017. – № 9. – PP. 104–17;
7. Bialosau, A. Materiais compositos para isolamento termico de materias-primas naturais e aglutinantes minerais / A. Bialosau, A. Bakatovich, F. Gaspar Livro de Resumos 3<sup>o</sup> Congresso Luso – Brasileiro de Materiais de construcao sustentaveis, Coimbra, Portugal. – 2018. – PP. 16 – 27.

3. Бакатович, А.А. Микроструктура как основной критерий, определяющий использование мха сфагнума в качестве заполнителя для эффективного плитного теплоизоляционного материала / А.А. Бакатович // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 42–46.
9. Красимова, С.С., Малышева, В.А., Рожкова, Д.Н. Обзор биопозитивных строительных материалов, применяемых при строительстве экоддома / С.С. Красимова, В.А. Малышева, Д.Н. Рожкова // Masters journal. ISSN 2306-8590. – 2014. – С. 363–369
10. Плиты теплоизоляционные звукопоглощающие. Технические условия: ТУ ВУ 391129716.001-2015. – Введ. 27.07.2015. – Ореховск. – 2015. – 10 с.

УДК 628.8

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕРЫ И РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ

**А.С. Камеко, Л.М. Парфенова**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: kamecko@yandex.by, l.parfenova@psu.by

*В статье приведены результаты определения физико-механических характеристик асфальтобетона, содержащего в своем составе резиновую крошку, и асфальтобетона без добавок верхнего слоя дорожного покрытия автодороги Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав. Экспериментально установлено, что совместное введение в состав асфальтобетона резиновой крошкой и технической серы позволяет увеличить предел прочности при сжатии при температуре 50 °С в 2,7 по сравнению с асфальтобетоном с резиновой крошкой и в 2,3 раза по сравнению с асфальтобетоном без добавок.*

**Ключевые слова:** резиновая крошка, техническая сера, асфальтобетон, предел прочности при сжатии.

## APPLICATION OF SULFUR AND RUBBER CRUMB IN ASPHALT CONCRETE MIXTURES

**A. Kameko, L. Parfenova**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: kamecko@yandex.by, l.parfenova@psu.by

*The article presents the results of determining the physico-mechanical characteristics of asphalt concrete containing crumb rubber and asphalt without additives of the top layer of the road surface of the R-14 Polotsk-Miory-Braslav highway. It was experimentally established that the combined introduction of rubber crumb and technical sulfur into the composition of asphalt concrete allows to increase the compressive strength at a temperature of 50 °C by 2.7 compared to asphalt concrete with crumb rubber and by 2.3 times compared to asphalt concrete without additives.*

**Keywords:** crumb rubber, technical sulfur, asphalt concrete, compressive strength.

Интенсивное развитие современной дорожной сети, требует постоянной модернизации технологий производства работ, повышения качества и физико-механических характеристик применяемых асфальтобетонных смесей. Существуют различные пути совершенствования асфальтобетонной смеси и её компонентов. Авторами исследований [1–3] показано, что одним из современных направлений модификации асфальтобетонных является введение в их состав крошки из резин общего назначения, в том числе шинной.

Целью настоящих экспериментальных исследований являлся сравнительный анализ физико-механических характеристик асфальтобетона с использованием резиновой

крошки и асфальтобетона марки ЩМБг20-II/2,0, находящихся в эксплуатации на автодороге (А/Д) Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав. Верхний слой покрытия был выполнен в 2011 году. Образцы асфальтобетона с резиновой крошкой отобраны мост через реку Нача км. 20,598 А/Д Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав. Образцы асфальтобетона марки ЩМБг20-II/2,0 отобраны на А/Д Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав км 16,323. Сравнение образцов выполнялось согласно СТБ 1115-2013 по следующим показателям: средняя плотность, водонасыщение, набухание, коэффициент уплотнения, предел прочности на сжатие. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Физико-механические характеристики верхнего слоя дорожного покрытия автодороги (А/Д) Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав

Наименование показателей, единицы измерения	Среднее значение показателей для образцов	
	асфальтобетона с резиновой крошкой	асфальтобетона
Средняя плотность, $\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup>	2,37	2,42
Водонасыщение, W, %	1,80	2,65
Набухание, N, %	0,3	0,08
Средняя плотность переформованных образцов, $\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup>	2,43	2,45
Коэффициент уплотнения, $K_{\text{у}}$	0,98	0,99
Предел прочности при сжатии 50°C, $R_{\text{сж50}}$ МПа	2,027	2,399

На основе лабораторных испытаний было установлено, что асфальтобетон с резиновой крошкой, находящийся в эксплуатации на автодороге Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав, по сравнению с асфальтобетоном марки ЩМБг20-II/2,0 имеет показатель водонасыщения в 1,5 раза ниже, при этом набухание выше на 0,22%, предел прочности при сжатии при 50 °С ниже на 15,5 %.

Полученные результаты показали необходимость совершенствования состава асфальтобетона с резиновой крошкой, с целью получения предела прочности при сжатии не ниже, чем у контрольного асфальтобетона марки ЩМБг20-II/2,0. Практика применения и лабораторные исследования [4, 5] показывают, что значительно улучшает качество асфальтобетонов добавка технической серы, являющейся промышленным отходом, в частности, продуктом глубокой очистки от серы продуктов нефтепереработки, и требующей утилизации.

Для разработки состава использовались следующие материалы: сера техническая по ГОСТ 127.1–93; резиновая крошка, полученная путем измельчения автомобильных покрышек, фракция не более 0,315 мм; щебень гранитный, фракции 5–10 по ГОСТ 8267-93, марка щебня по прочности 1400, по истираемости И-1; отсев дробления, фракции 0–5 мм по ТУ ВУ 200161167.003-2010, модуль крупности 2,7, насыпная плотность 1510 кг/м<sup>3</sup>; битум дорожный марка БНД 70/100 по СТБ EN 12591-2010; минеральный порошок для асфальтобетонов из доломита марка МП-1 по ГОСТ 16557-2005. Испытания проводились согласно СТБ 1115-2013 на стандартных цилиндрических образцах

диаметром  $71,4 \pm 0,1$  мм. Определялись следующие физико-механические характеристики: предел прочности при сжатии при  $50^\circ\text{C}$ , водонасыщение, набухание, средняя плотность.

Разработка состава асфальтобетона с технической серой и резиновой крошкой выполнялась с применением метода математического планирования эксперимента и обработки данных факторного эксперимента с применением компьютерной программы «PlanExp B-D13», разработанной в среде программирования Microsoft Visual Basic 6.0. Программа ориентирована на работу с трехфакторным планом эксперимента B-D13, который позволяет получать нелинейные квадратичные модели, и обладает хорошими статистическими характеристиками.

В качестве варьируемых факторов рассматривались содержание серы в составе асфальтобетонной смеси ( $x_1$ ), содержание битума ( $x_2$ ) и содержание резиновой крошки ( $x_3$ ), в качестве результирующего фактора рассматривался предел прочности при сжатии при  $50^\circ\text{C}$ . При варьировании факторов сохранялось постоянное соотношение компонентов асфальтобетонной смеси (по массе) щебень: отсев дробления: минеральный порошок = 1 : 0,48 : 0,08. Согласно плану эксперимента выполнялось десять опытов по три параллельных испытания в каждом. Факторы и интервалы варьирования представлены в таблице 2. План и результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 2. – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Содержание серы, % по массе	$x_1$	0	3	6	3
Содержание битума, % по массе	$x_2$	3	5	7	2
Содержание резиновой крошки, % по массе	$x_3$	0	1,5	3	1,5

Таблица 3. – План и результаты эксперимента

Номер опыта	Матрица планирования			Предел прочности при сжатии при температуре $50^\circ\text{C}$ , $R_{сж50}$ , МПа, для образцов		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	№1	№2	№3
1	-1	-1	-1	1,626	1,478	1,572
2	+1	-1	-1	2,876	3,159	2,498
3	-1	+1	-1	1,632	1,565	1,498
4	-1	-1	+1	0,01	0,01	0,01
5	-1	0,19	0,19	2,954	2,658	2,432
6	0,19	-1	0,19	3,44	3,601	3,058
7	0,19	0,19	-1	2,421	2,641	2,2
8	-0,29	+1	+1	1,991	2,016	2,103
9	+1	-0,29	+1	5,099	5,278	5,05
10	+1	+1	-0,29	2,213	2,088	1,99

Значимость коэффициентов уравнения определялась по t-критерию Стьюдента. Адекватность математической модели оценивалась по критерию Фишера. Полученная математическая модель является адекватной и может применяться для решения производственных задач.

Математическая модель предела прочности при сжатии при 50 °С асфальтобетона, содержащего в своем составе техническую серу и резиновую крошку, выглядит следующим образом:

$$R_{сж50} = 3,693 + 0,869 \cdot x_1 - 0,328 \cdot x_2 + 0,372 \cdot x_3 - 0,964 \cdot x_2^2 - 0,721 \cdot x_3^2 - 0,626 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,853 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,292 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Для визуализации математической модели построена диаграмма линий равного уровня (изолиний), представляющая собой проекцию трехмерной поверхности на плоскость  $(x_2; x_3)$  при постоянном факторе  $x_1 = \text{const} = 1$  (рис. 1). Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора  $X_1 = 1$  имеет вид:

$$R_{сж50} = 4,506 - 0,328 \cdot x_2 + 0,372 \cdot x_3 - 0,964 \cdot x_2^2 - 0,721 \cdot x_3^2 - 0,626 \cdot x_2 + 0,853 \cdot x_3 + 0,292 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет  $R_{сж50 \text{ opt}} = 5,16$  МПа. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов:  $x_2 = -0,378$  и  $x_3 = 0,773$  при  $x_1 = 1$ . Для данного сочетания факторов в соответствии с СТБ 1115-2013 экспериментально были определены значения средней плотности, водонасыщения, набухания и предел прочности при сжатии. Результаты представлены в таблице 4.

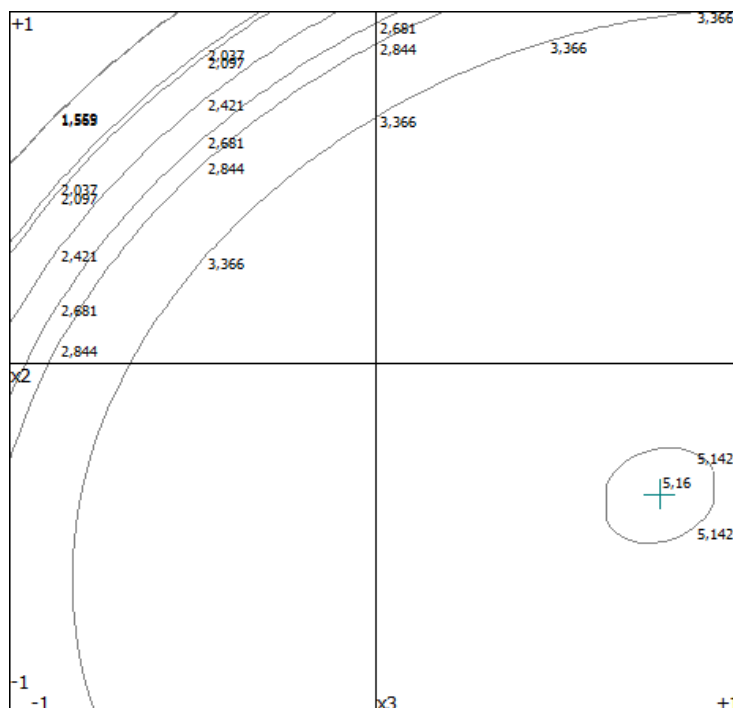


Рисунок 1. – Диаграмма изолиний математической модели прочности на сжатие асфальтобетона при  $x_1 = 1$

Таблица 4. – Физико-механические характеристики асфальтобетона с технической серой и резиновой крошкой

Наименование показателя, единица измерения	Значения показателя асфальтобетона для образцов			
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	Среднее значение
Средняя плотность, $\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup>	2,41	2,41	2,41	2,41
Водонасыщение, W, %	2,46	2,70	2,21	2,45
Набухание, Н, %	0,26	0,35	0,16	0,26
Предел прочности при сжатии 50°С, $R_{\text{сж50}}$ МПа	5,86	5,34	5,46	5,55

Таким образом, экспериментально определено, что совместное применение резиновой крошки и технической серы в составе асфальтобетона позволяет увеличить предел прочности при сжатии при 50°С до 5,55 МПа, что в 2,7 раза выше, чем у асфальтобетона с резиновой крошкой на автодороге (А/Д) Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав, в 2,3 раза выше, чем у асфальтобетона марки ЩМБг20-И/2,0.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хафизов, Э.Р., Семенов, Д.Ю. Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь добавок резиновой крошки / Э.Р. Хафизов, Д.Ю. Семенов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 2 (40). – С. 305 – 311.
2. Аюпов, Д. А., Мурафа, А.В., Хакимуллин, Ю.Н., Хозин, В.Г. Современные способы регенерации резин и возможности использования их в строительной отрасли / Д.А. Аюпов, А.В. Мурафа, Ю.Н. Хакимуллин, В.Г. Хозин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 2 (40). – С. 260 – 263.
3. Оксак, С.В. Влияние дробленной резиновой крошки на свойства битума и асфальтобетона / С.В. Оксак // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Вып. 79. – 2017. – С. 133 – 137.
4. Гладких, В.А., Королев, Е.В., Хусид, Д.Л. Стойкость сероасфальтобетонов к образованию колеи / В.А. Гладких, Е.В. Королев, Д.Л. Хусид // Вестник МГСУ. – 2016. – № 12. – С. 70 – 78
5. Дошлов, О.И., Калапов, И.А. Новые дорожные битумы на основе органического вяжущего, модифицированного технической серой и полимерными добавками / Дошлов, О.И., Калапов, И.А. // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 11 (106). – С. 107 – 111.

## Секция IV

## ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И УПРАВЛЕНИЕ НЕДВИЖИМОСТЬЮ

УДК 332.141.4/.6

ДЕТЕРМИНАНТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ*Н.Е. Журавская, А.И. Белова*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

e-mail: zhuravska.nie@knuba.edu.ua

*Исследуется актуальный вопрос оптимизации инновационных интегрированных технологий в строительной отрасли Украины. Выделение первоочередных задач, которые позволят строительной отрасли выйти на новый уровень развития, учитывая ключевые факторы оптимизации инновационных технологий в строительной отрасли, может определить динамику развития строительного предприятия с выделением приоритетов та направления инновационного развития.*

**Ключевые слова:** *инновационных интегрированных технологии, энергоэффективность, сбалансированное функционирование отрасли.*

DETERMINANTS OF OPTIMIZING INNOVATIVE INTEGRATED TECHNOLOGIES  
IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY*N. Zhuravska, A. Bielova*

Kiev National University of Construction and Architecture, Ukraine

e-mail: zhuravska.nie@knuba.edu.ua

*The actual issue of optimizing innovative integrated technologies in the construction industry of Ukraine is being investigated. Highlighting the priority tasks that will allow the construction industry to reach a new level of development, taking into account the key factors for optimizing innovative technologies in the construction industry, can determine the dynamics of the development of a construction enterprise with the identification of priorities in that area of innovative development.*

**Keywords:** *innovative integrated technologies, energy efficiency, balanced functioning of the industry.*

Необходимо отметить, что, как показывает опыт по принятию и обоснованию любого уровня управленческих решений, актуальным становится решение научно-прикладной и организационно-экономической задачи по определению целесообразности инкорпорации национальной экономической системы и, соответственно, украинских предприятий к новому формату функционирования. А также следует признать и осуществить идентификацию реальных условий, предпосылок и ограничений по результатам



реализации интеграционного выбора государства, что, как известно, в значительной мере, должно базироваться на доминантах обеспечения достаточного уровня экономической безопасности, и не только для Украины, но и для любого государства мира.

Есть жесткая необходимость привести аргументы целесообразности осуществления соответствующего типа политики с детализацией информации по результатам углубленного и комплексного анализа факторов, которые могут быть предвестниками возникновения того или иного рода вызовов, техногенных рисков или угроз как строительной отрасли, так и национальной экономики. К сожалению, при этом наблюдается: отсутствие соответствующей инновационной технологии и объективной системы оценивания адекватности существующей системы регулирования экономики и потребности в осуществлении исследования современных проблем и препятствий на пути формирования, наращивания и использования потенциала устойчивого экономического развития как строительной отрасли в частности так и Украины в целом.

Указанные выше организационно-экономические предпосылки обеспечения результативности инновационного развития эколого-экономического управления техноприродными системами строительной отрасли, которые подразделяются на факторы внешнего характера «мягкой гегемонии» международного капитала; внутренней природы, что обусловлено масштабами развитости уже сложившегося на территории Украины потенциала устойчивого развития и факторами, которые определяют необходимость радикального обновления различных сфер деятельности предприятий строительной отрасли и предприятий обслуживающих данную отрасль.

Необходимо выделить первоочередные задачи, которые позволят строительной отрасли выйти на новый уровень развития, учитывая ключевые факторы оптимизации инновационных технологий в строительной отрасли, в частности, определить динамику развития строительного предприятия с выделением приоритетов та направления инновационного развития. Внимания также заслуживает определение пространственных и временных границ изменений инновационного процесса с разработкой критериев, внедрения теоретических концепций эколого-экономического управления техноприродными системами теплоэнергетических объектов, с использованием нанотехнологий, и их показателей повышения устойчивости развития строительного предприятия и соответственно предприятия обслуживающего данную отрасль [1].

В данной статье уделяется большое внимание на необходимости определить способы системного подхода инновационного развития предприятия на основе системного, комплексного, иерархического, функционального, процессного, и структурных изменений, то есть с использованием процессно-функционального подхода обеспечивающих инновационную стратегию развития строительного предприятия и переход на новый этап функционирования обеспечивающего конкурентоспособность в рыночных условиях.

Одной из основных задач реализации экономической политики является уменьшение доли энерго – и ресурсоемких отраслей, внедрение эколого-энергосберегающих технологий, что характеризуется разработкой соответственного типа структурно-отраслевой стратегии с выбором приоритетов развития строительных предприятий [2].

Отметим и следующее, уровень развития строительных предприятий характеризуется нерациональной системой управления. В Украине, сегодня есть острая потребность

внедрения целевой структурной политики обеспечения высокой энергоэффективности и сбалансированного функционирования, на реальном примере внедрение в отрасли, в том числе, строительные, регламента выполнения работ для теплоэнергетических объектов при использовании инновационных технологий [3].

С учетом вышеизложенного, необходимо отметить, что для реализации технологии управления структурными изменениями необходимо учитывать не только усовершенствование отраслевой структуры, а и функциональной, технологической, институциональной. Данная публикация показывает обоснование необходимости объединения в единое целое основные характеристики нанотехнологии безреагентной подготовки воды в ЭМП (стратегические намерения) и организационно-управленческие тактические намерения, которые являются обязательной составляющей создания инновационных технологий в строительстве. Для обеспечения высокой эффективности производственных процессов и предупредительной производственной деятельности в строительстве, в частности, в процессе безреагентной подготовки воды в электромагнитных полях (омагниченная вода систем теплоснабжения) является объединение организационно-управленческих решений в процессе эксплуатации систем теплоэнергетических объектов. Выбор метода аналитического контроля играют решающую роль при применении индикаторной системы контроля, как факторного признака эффективности производственных процессов при применении нанотехнологий, которые используют для безреагентной подготовки воды для теплоэнергетических объектов строительной отрасли [4].

Таким образом, инновационная деятельность строительной отрасли должна быть многовекторным и интеграционным процессом обеспечения результативности регулирования их развития, в частности, с целью достижения надежной аналитической информации по итогам проведения пассивного мониторинга состояния материальных потоком систем для теплоэнергетических объектов строительной отрасли. Безусловно, он должен перманентно корректироваться и не только прямыми, а и о посредственными конструктивными действиями в соответствии с макроэкономическими моделями инновационно-информационными отраслями и производствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhuravska, N. Two-tier integral indicator system for controlling the material flow heat-power engineering objects / N. Zhuravska, P. Kulikov, A. Bielova // USEFUL online journal. – Vol. 2, – N. 4, December 2018. – pp. 80 – 87.

2. Куліков, П.М. Галузеві особливості функціонування управлінського менеджменту в рамках екологізації економіки будівництва / П.М. Куліков, Н.Є. Журавська // 3-я міжнародна науково-практична конференція «Перезавантаження будівництва: економіка, організація, менеджмент», 5-16 листопада 2017. – Київ: КНУБА, 2017. – с.74-76.– 2008. – № 1 – Р. 56–54.

3. Куліков, П.М. Технологічний регламент процесу безреагентної підготовки води в електромагнітних полях для експлуатації систем теплоенергетичних об'єктів / П.М. Куліков, Н.Є. Журавська. – К.: ІТЕМ. – 10 с.

4. Малкін, Е.С. Спеціальні питання тепломасообміну: підручник / Е.С. Малкін, І.Є. Фуртат, Н.Є. Журавська. – Київ: КНУБА, 2017. – 288 с.

УДК 69.003

МОДЕРНИЗАЦИОННЫЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ТРАНСФОРМАЦИИ  
ОБЩЕСТВЕННО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ В КОНТЕКСТЕ ПРОБЛЕМЫ  
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ УКРАИНЫ

**Г.М. Рыжакова**

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

e-mail: kmb\_knuba@ukr.net

*Инвестиционно-строительный комплекс является одним из самых крупных потребителей энергоресурсов, которые формируют среду жизнедеятельности человека. Поэтому возникает необходимость организации такой системы функционирования предприятий территориального инвестиционно-строительного комплекса при которой развитие строительства, в том числе жилищного, велось бы с учетом сопоставления его антропогенного воздействия на природу (баланса потребностей и возможностей предприятий стройиндустрии, застройщиков, подрядчиков) и устойчивости окружающей среды к их воздействию на основе интеграции концептуальных подходов Green Building Smart City и международного стандарта ISO 26000: 2010.*

**Ключевые слова:** инвестиционно-строительный комплекс, устойчивое развитие, умный город, интеллектуальные инфраструктуры.

MODERNIZATION DETERMINANTS OF TRANSFORMATION  
OF SOCIAL AND TERRITORIAL SYSTEMS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
OF THE UKRAINIAN ECONOMY

**G. Ryzhakova**

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

e-mail: kmb\_knuba@ukr.net

*The investment and construction complex is one of the largest consumers of energy resources, which form the environment for human life. Therefore, there is a need to organize such a system of functioning of enterprises of the territorial investment and construction complex at which the development of construction, including housing construction, would be carried out taking into account the comparison of its anthropogenic impact on the environment (balance of needs and capabilities of construction industry enterprises, builders, contractors) and the stability of the environment to their impact on the basis of the introduction of conceptual approaches of Green Building Smart City and international standard ISO 26000: 2010.*

**Keywords:** investment and construction complex, sustainable development, smart city, intellectual infrastructure.

**Введение.** Интенсификация антропогенного воздействия на окружающую среду при одновременном истощении ее ассимиляционного потенциала, крайнее обострение экологических проблем в условиях истощения невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов заставляет многих исследователей говорить о надвигающейся эколого-гуманитарной катастрофе. Решение вышеуказанных проблем может быть реализовано при переходе строительной отрасли на концепцию Green Building. Выделяют три главных принципа экообъектов: рациональное использование возобновляемых ресурсов (энергии, земли, воды), оценка и минимизация негативного воздействия объекта недвижимости на окружающую среду на всех этапах его жизненного цикла (в отличие от существующего узконаправленного нормативного подхода к оценке экологической безопасности здания только на этапах проектирования и строительства) и создание комфортной для человека «развивающей» окружающей среды за счет внедрения «зеленых» стандартов [1].

**Основная часть.** Согласно международному стандарту ISO 26000: 2010 устойчивое развитие - это развитие, которое удовлетворяет потребности современности, не ставя при этом под угрозу возможность будущих поколений удовлетворять свои потребности [2]. Реализация данного концептуального подхода требует преобразования экономической деятельности предприятий инвестиционно-строительного комплекса в новое качество, при достижении которой внедрение инновационно-управленческих решений строительства объектов жилой недвижимости обеспечит минимальное потребление природных ресурсов, в первую очередь тепловых и энергетических.

Стратегическая цель управления территориями - их устойчивое развитие на основе экономического роста, повышения уровня качества жизни населения, сохранение природно-климатического потенциала, улучшение экологической ситуации, создание благоприятного институционального обеспечения с учетом факторов внешней среды. При этом способность формировать условия для хозяйственной и нехозяйственной деятельности является более важной составляющей самих результатов этих процессов. Теоретические положения концепции формирования предпосылок устойчивого развития сводятся к следующим их видам: рыночные, ресурсные и институциональные. К рыночным факторам относим, в первую очередь, рыночные законы, закономерности и механизмы функционирования экономической системы; к ресурсным - наличие и доступность ресурсов, в частности природных, для их потребителей. К особой группе, кроме указанных, могут быть отнесены факторы эколого- социального характера, которые в определенной степени определяют ресурсную (с позиций их сохранения для будущих поколений), и институциональную (как базис регулирования условий функционирования рыночных и рыночных агентов) составляющие. Сочетание рыночной, ресурсной, институциональной и социально-экологической составляющих функционирования территорий способствует формированию синергетического эффекта роста их устойчивости.

Перспективы интеграции Украины в европейское сообщество требует кардинального пересмотра имеющихся традиционных подходов к роли и значению *регионов как общественно-территориальных систем* в реализации тренда

на модернизацию и структурную оптимизацию отечественной экономики, задействование инновационного потенциала как доминанты конкурентоспособности, значительного повышения социальных стандартов уровня и качества жизни населения, рационального природопользования и сохранения окружающей среды для будущих поколений.

Опыт стран ЕС убедительно показал, что регионализм как парадигма оптимального использования внутреннего потенциала выступает с позиций оптимального уровня восстановления потребностей и ресурсов на пространственном уровне для решения проблем преодоления асимметрии регионального ландшафта благодаря переносу акцентов с прямого государственного регулирования на формирование мотивационных механизмов для использования уникальности производительных сил и направление их в русло саморазвития конкретных территорий. В этих обстоятельствах именно регион становится, с одной стороны, своеобразным маркером для межгосударственного сотрудничества, а с другой, основным субъектом социально-государственных и интеграционных процессов в экономическом, научно-техническом, экологическом, трансграничном сотрудничестве.

Внедрение подхода «Smart City» («умный город») как составляющей системы управления городом становится все более распространенным инструментом результат-ориентированного публичного управления на основе системы менеджмента. Город можно считать «разумным», когда инвестиции в человеческий и социальный капитал, а также в традиционную (транспортную) и современную коммуникационную инфраструктуру создают основания для устойчивого экономического развития и высокого качества жизни, с умным управлением природными ресурсами благодаря управлению при широком участии граждан [3]. В соответствии с европейской моделью «Smart City», «умные города» можно определить по шести основным критериям / характеристикам:

1. Умная экономика (Smart economy)
2. Умная мобильность (Smart mobility)
3. Разумное окружающей среды (Smart environment)
4. Умные люди / населения (Smart people)
5. Хорошая жизнь / проживания (Smart living)
6. Разумное управление (Smart governance).

Все эти критерии соответствуют традиционным теориям развития городов и базируются на известных принципах региональной конкурентоспособности, транспорта и информационно-коммуникационных технологий, экономии, природных ресурсов, человеческого и социального капитала, качества жизни, а также участия граждан в управлении городами. Поэтому именно они были положены в основу разработанного в 2007г. рейтинга, где шестерым характеристикам соответствуют 31 фактор и 74 индикатора [4].

Проведенное исследование методических подходов к оценке уровня развития регионов позволило предложить подход к моделированию оценки влияния государственной региональной политики на модернизационное состояние пространственных хозяйственных систем в условиях становления международного стандарта ISO 26000: 2010 (табл. 1).

Таблица 1. – Модельное решение расчета интегрального индекса социально-экономического развития региона как общественно-территориальной системы

Показатели	Формализация модельного решения	Номер формулы
Интегральный индикатор экономического развития региона ( $I_{er}$ )	$I_{er} = \sum_{i=1}^6 a_i X_{1i},$	(1)
Весовой коэффициент индикатора экономического развития ( $a_i$ )	$a_i = (Z_1 \cdot Z_1^T)^{-1} Z_1 I_{er0},$	(2)
Интегральный индикатор внешне-экономической и инвестиционно-инновационной деятельности ( $I_{zi}$ )	$I_{zi} = \sum_{i=7}^{14} b_i X_{2i},$	(3)
Весовой коэффициент внешнеэкономической и инвестиционно-инновационной деятельности ( $b_i$ )	$b_i = (Z_2 \cdot Z_2^T)^{-1} Z_2 I_{zi0},$	(4)
Интегральный индикатор транспортной инфраструктуры ( $I_{ti}$ )	$I_{ti} = \sum_{i=15}^{19} c_i X_{3i},$	(5)
Весовой коэффициент транспортной инфраструктуры ( $c_i$ )	$c_i = (Z_3 \cdot Z_3^T)^{-1} Z_3 I_{ti0},$	(6)
Интегральный индикатор развития социальной инфраструктуры и рынка труда ( $I_{sr}$ )	$I_{sr} = \sum_{i=20}^{27} d_i X_{4i},$	(7)
Весовой коэффициент развития социальной инфраструктуры и рынка труда ( $d_i$ )	$d_i = (Z_4 \cdot Z_4^T)^{-1} Z_4 I_{sr0},$	(8)
Интегральный индикатор экологической защиты и развития ( $I_{ez}$ )	$I_{ez} = \sum_{i=28}^{30} e_i X_{5i},$	(9)
Весовой коэффициент экологической защиты и развития ( $e_i$ )	$e_i = (Z_5 \cdot Z_5^T)^{-1} Z_5 I_{ez0},$	(10)
Интегральный индекс устойчивого развития региона ( $I_{reg}$ )	$I_{reg} = K_1 I_e + K_2 I_{zi} + K_3 I_{ti} + K_4 I_{sr} + K_5 I_{be},$	(11)
Весовой коэффициент индикаторов устойчивого развития ( $K$ )	$K = [(Z_6 \cdot Z_6^T)^{-1} Z_6] I_{reg0},$	(12)

где:  $Z_1 - Z_5$  – матрица частных показателей соответствующего интегрального индикатора;  $I_0$  – смоделированный индикатор соответствующего интегрального индикатора социально-экономического развития регионов;  $X_{1i}$  – частичные показатели составляющих социально-экономического развития регионов (пять составляющих:  $c_1$  – экономическое развитие,  $c_2$  – внешнеэкономическая и инвестиционно-инновационная деятельность,  $c_3$  – транспортная инфраструктура,  $c_4$  – развитие социальной инфраструктуры та ринке труда,  $c_5$  – экологическая защита и развитие);  $Z_6$  – матрица индикаторов социально-экономичного развития;  $I_{reg0}$  – смоделированный интегральный индекс социально-экономического развития региона

Поскольку сейчас нет устоявшегося методического подхода к моделированию оценки становления нового регионализма, предложено осуществлять оценку влияния государственной региональной политики на модернизационный состояние пространственных хозяйственных систем в условиях становления нового регионализма, модель которого в результате подстановки конкретных функционалов становления нового регионализма имеет следующий вид:

$$F(t, f) \left( \begin{array}{l} f_1 \left[ a - \alpha(f_1 + f_2 + f_3 - k) - \frac{\sin(f_2)}{f_1 + b} \right] \\ (f_2) \cdot \left( c + \frac{f_1}{f_1 + b} - \frac{f_3}{\sin(f_2) + b} \right) \\ f_3 \left( d + \frac{f_2}{\sin(f_2) + b} \right) \end{array} \right), \quad (13)$$

где  $f_1, f_2, f_3$  - непрерывно-дифференцируемые функции по фазовым переменным, а именно воспроизводящая, мобилизационно-распределительная и социальная функция соответственно;

$k$  - комплексный интегральный индекс функционалов становления нового регионализма соответствующего региона;

$a, c, d$  - коэффициенты разниц значений интегральных индексов модулей воспроизведенной, мобилизационно-распределительной и социальной функций относительно значений индексов региона с высоким рангом.

$$a = \frac{(I_{vfcp_j} - I_{vfcp_1})p}{l}, \quad c = \frac{(I_{mrfcj} - I_{mrfc_1})p}{l}, \quad d = \frac{(I_{sfcp_j} - I_{sfcp_1})p}{l}, \quad (14)$$

где  $I_{vfcp_1}, I_{mrfc_1}, I_{sfcp_1}$  – значение среднего интегрального индекса модуля воспроизведенной, мобилизационно-распределительной и социальной функций;

$I_{vfcp_j}, I_{mrfc_j}, I_{sfcp_j}$  – значение среднего интегрального индекса модуля воспроизведенной, мобилизационно-распределительной и социальной функций исследуемого  $j$ -го региона;

$l$  – ранг региона

$p$  – шаг интегрирования функции оптимизации по временным интервалам;

$b = k \cdot p$ ;

$\alpha$  – шаг интегрирования значений функции оптимизации  $L$ .

Функционалом  $L$  выступает минимизация разницы в значениях интегральных индикаторов модулей подфункций и интегральных индикаторов модулей воспроизведенной, мобилизационно-распределительной и социальной функций, а также комплексного индекса модуля функций региона в целом. Минимизации подлежат: депрессивное состояние многих регионов, дисбаланс в экономике и управлении регионами в условиях децентрализации управленческих процессов, общенациональная проблема загрязнения окружающей среды.

Проведение опытно-экспериментальной проверки предложенного моделирования оценки воздействия государственной региональной политики на модернизационный состояние пространственных хозяйственных систем в соответствии с предложенными этапами позволило оценить социально-экономическое развитие регионов. На протяжении 2010-2018 гг. наивысший ранг по рейтингу интегрального индекса регионального развития и перехода на европейские стандарты нового регионализма имеют г. Киев, Киевская, Днепропетровская, Харьковская и Винницкая области. Самые низкие параметры этого индекса имели Тернопольская, Черкасская, Херсонская, Донецкая и Луганская области.

Суммарная рыночная стоимость умных городов к 2025 г. превысит отметку в \$2 трлн. Такие данные содержатся в исследовании компании Frost & Sullivan [5], посвященном тенденциям в сфере искусственного интеллекта (ИИ). По мнению аналитиков, именно ИИ станет одной из краеугольных технологий, используемых при построении умных городов, наряду с персонализированным здравоохранением, робототехникой, распределенной энергией и передовыми системами помощи водителям.

Создание умных городов — одно из ключевых направлений цифровой экономики во всем мире. Украина не является исключением. Так, 21 ноября 2017г. Киевсовет принял концепцию концепцию «КИЕВ СМАРТ СИТИ - 2020» [6], которая определяет базовые принципы для дальнейшего инфраструктурного, технологического и социального развития столицы, а также новый вектор трансформации городского пространства, что предусматривает:

- сформировать офис мера города «СМАРТ СИТИ», который будет осуществлять централизацию управления в области инноваций и информационных технологий;
- выявить и устранить ключевые барьеры на пути реализации концепции - диагностики бизнес-процессов, проанализировать регуляторные ограничения и предоставлять предложения по их устранению;
- разработать и внедрить прозрачную модель государственно-частного партнерства для реализации проектов «КИЕВ СМАРТ СИТИ»;
- наладить сотрудничество с городами - мировыми лидерами по реализации модели «СМАРТ СИТИ» для обмена опытом, международной экспертизы и осуществления совместных проектов;
- максимально привлечь общественность к созданию, пользования и оценки решений «КИЕВ СМАРТ СИТИ»;
- способствовать имплементации ведущих практик, опыта и решений передовых городов;
- участвовать в создании современных форм частно-государственного партнерства;
- способствовать привлечению инвестиций, способствовать улучшению инвестиционной и инновационной привлекательности Киева как «СМАРТ СИТИ» и многое другое.

Создание умного города предусматривает комплексные социальные и технологические трансформации благодаря развитию современных информационно-коммуникационных технологий и новым стандартам энергоэффективности.



**Заключение.** Трансформационный характер экономического развития и парадигмальные изменения мирового хозяйственного пространства доказали необходимость введения системы обеспечения развития общественно-территориальных систем на основе интеграции концептуальных подходов Green Building, Smart City и международного стандарта ISO 26000: 2010, которая построена на принципах системности, закономерности, последовательности, непрерывности и взаимодействия, учитывает социально-экономическое развитие регионов и детерминированы факторы влияния на обеспечение экономической безопасности регионов в условиях становления регионализма на мезо и макроуровне.

На основе разработанного концептуального подхода устойчивого развития экономики Украины обоснованы мероприятия по активизации инновационных процессов в регионах, основанные на наращивании интеллектуального капитала регионов как доминирующей и ведущей силы инновационного процесса и повышение инновационной культуры для формирования идеологического окружения, атмосферы и сознания населения регионов по безусловности инновационной основы социально-экономического развития регионов в условиях становления нового регионализма и повысит ния личного уровня жизни.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крыгина, А.М. Формирование организационно-экономических решений при инновационном жилищном строительстве // Креативная экономика. – 2014. – Том 8. – № 7. – С. 86-99.
2. ISO 26000: 2010 – Access mode : <http://csr-eu-jm.com.ua/files/ISO26000.pdf>
3. Smart cities – Ranking of European medium-sized cities : final report / The Centre of Regional Science at the Vienna University of Technology (lead partner) ; The Department of Geography at University of Ljubljana ; The OTB Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies at the Delft University of Technology. – Vienna: The Centre of Regional Science Vienna UT, 2007. – 26 p. – Access mode : [http://www.smartcities.eu/download/smart\\_cities\\_final\\_report.pdf](http://www.smartcities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf).
4. Factors and indicators. Smart Governance. – Access mode: [http://www.smartcities.eu/model\\_6.html](http://www.smartcities.eu/model_6.html).
5. Best-practices-recognition. – Access mode: <https://ww2.frost.com>
6. Концепция "Kyiv Smart City 2020"– Access mode: <http://kievlast.com.ua/news/kievsovetutverdil-kontseptsiyu-kyiv-smart-city-2020>

УДК 69.055

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*С.В. Прохоров, О.А. Федорова*

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,

Российская Федерация

e-mail: Oc204@bk.ru

*С развитием промышленности человечество в геометрической прогрессии увеличивало потребление невозобновляемых энергетических ресурсов. Строительство занимает весомую часть в экономике Российской Федерации, где при выполнении строительно-монтажных работ затрачивается немалое количество различных энергоресурсов. В представленной статье разработаны организационно-технологические мероприятия по снижению потребления энергоресурсов и альтернативные решения по повышению энергоэффективности строительного производства. Проведенные исследования позволили выявить приоритетные направления и резервы для оптимизации энерго- и ресурсопотребления строительства.*

**Ключевые слова:** строительство, энергоэффективность, организация строительства, оптимизация ресурсов, конкурентоспособность

## ORGANIZATIONAL MEASURES TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF CONSTRUCTION PRODUCTION

*S. Prokhorov, O. Fedorova*

Vladimir state University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich

Stoletov, Russian Federation

e-mail: Oc204@bk.ru

*With the development of industry, mankind exponentially increased the consumption of non-renewable energy resources. Construction occupies a significant part in the economy of the Russian Federation, where a considerable amount of various energy resources is spent during construction and installation works. The article presents organizational and technological measures to reduce energy consumption and alternative solutions to improve energy efficiency of construction production. The conducted researches allowed to reveal priority directions and reserves for optimization of energy and resource consumption of construction.*

**Keywords:** construction, energy efficiency, organization of construction, optimization of resources, competitiveness

**Введение.** Вопрос энерго- и ресурсосбережения привлек внимание человечества сравнительно недавно. Этому способствовало сразу несколько глобальных мировых проблем. Основная - ухудшение экологической обстановки в результате выброса вредных

веществ при получении, переработке и использовании традиционных энергетических ресурсов. На втором месте можно выделить геополитическую составляющую, когда запасы нефти, газа и т.д. сосредоточены в отдельных государствах, что делает зависимой экономику других стран от внешнеполитического курса этих стран-монополистов. Российская Федерация, как известно, обладает большими изведенными запасами природных ресурсов и является их крупнейшим импортером. Это позволяет существенно пополнять бюджет страны, но одновременно тормозит развитие научно-технического потенциала по применению альтернативных источников энергии и энергосбережению. Однако, энергоёмкость экономики России остается на достаточно высоком уровне, и для развития всех секторов экономики необходимо внедрение новых технологий и альтернативных источников энергии. По данным Росстата, отношение объема потребления топливно-энергетических ресурсов к объему валового внутреннего продукта (ВВП) снижается (рисунок 1), но темпы снижения недостаточны для конкуренции на мировом рынке.[1].

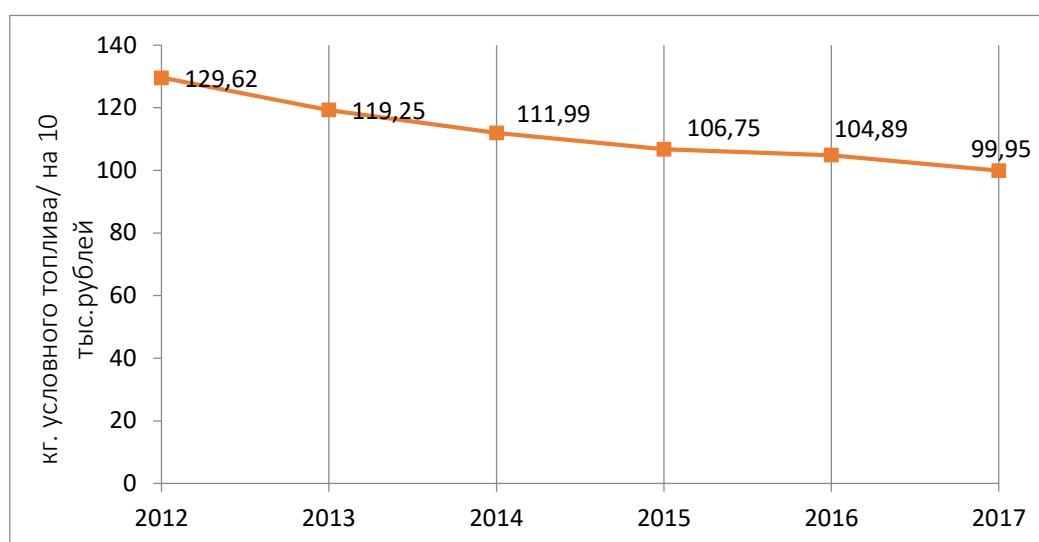


Рисунок 1. – Отношение объема потребления топливно-энергетических ресурсов к объему валового внутреннего продукта (ВВП)

Для повышения конкурентоспособности экономики на мировом уровне Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216 утверждена «Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации» и разработана «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года». В числе основных направлений обеспечения энергетической безопасности и стратегии развития выделяется совершенствование производственно-технологической деятельности и повышение энергоэффективности жилищно-коммунального комплекса России [2].

Жизненный цикл здания состоит из проектирования, строительства (возведения), эксплуатации и утилизации. Основные затраты приходятся на эксплуатацию объектов недвижимости (до 75%), поэтому в большинстве работ рассматриваются мероприятия по снижению энергопотребления именно на этой стадии. Вместе с тем, до 15% затрат энергоресурсов приходится на период возведения, и если расходы на эксплуатацию

оплачиваются собственниками помещений, то расходы при строительстве ложатся на плечи строительных компаний [3]. В большинстве строительных компаний, особенно региональных, организация работ по возведению зданий, энергетическое обеспечение строительной площадки и контроль за расходом материально-технических ресурсов находятся на уровне 90-х годов прошлого века. Это влечет за собой снижение конкурентоспособности, повышение себестоимости строительно-монтажных работ и увеличение экологической нагрузки на регион, где производятся работы. Необходима разработка нового подхода к организации строительно-монтажных и вспомогательных работ, а также к организации санитарно-бытового обслуживания строительной площадки.

**Основная часть.** Технологические процессы возведения здания можно разделить на подготовительные, заготовительные, строительно-монтажные. Задачей выполнения подготовительных процессов, как известно, является подготовка строительной площадки к производству основных работ, в том числе геодезическая разбивка территории. Традиционно геодезическое обеспечение строительства выполняется с использованием тахеометров. Несмотря на то, что со времен оптических нивелиров процесс значительно упростился за счет автоматизации большинства процессов, он по-прежнему остается достаточно трудоемким. С развитием современных цифровых технологий, появлением оптики высокой четкости, а также совершенствования лазерного сканирования стало возможным получение цифровой модели местности при помощи беспилотных летательных аппаратов и лидаров [4,5]. Данные технологии позволяют не только сократить время на получение геодезической подосновы, но и в дальнейшем сэкономить энергетические ресурсы при планировке поверхности, выполнении работ нулевого цикла и т.д. Построенная цифровая модель может быть использована в дальнейшем в различных программах ГИС и САПР, что облегчает процесс проектирования, оценки качества и объема выполненных работ. В частности, компания ООО «Индор-Центр» в 2017 г. выполнила при помощи беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 Pro оценку объемов и качества работ по реконструкции дорожного полотна [6].

На следующем этапе, полученная цифровая модель может быть соотнесена с моделью проектируемого земляного сооружения и требуемые параметры могут быть загружены в землеройно-транспортные машины. Традиционные методы выполнения земляных работ постепенно уходят в прошлое. Современные экскаваторы, бульдозеры, грейдеры и другая строительная техника, оснащенная компьютерными системами управления и позиционирования, позволяет снизить количество технологических операций до минимума [7]. В конечном итоге это приводит к сокращению времени работы машины и, как следствие, снижается количество вредных выбросов, потребляемого топлива, наработки машины. Немаловажным фактором является и то, что автоматизированные системы выбирают оптимальный режим загрузки рабочего оборудования. Это не только повышает надежность машинного парка, но и предотвращает перерасход ГСМ.

Помимо непосредственного управления технологическими операциями, программные продукты, основанные на получении информации о ходе выполнения работ в реальном времени, позволяют решать организационные вопросы, такие как обслуживание машинных парков, диагностика технического состояния и другое. [8] В частности, компания «Торсон», предлагает систему управления строительством SiteLink3D. При подключении машин к этому сервису можно из любой точки мира получить информацию о параметрах

выполняемых работ, а при интеграции с программным продуктом «DynaRoad» возможна оптимизация и управление работами на всем протяжении строительства [9].

Мировые производители строительной техники уже достаточно давно выпускают машины, оснащенные механизмами рекуперации энергии при движении подвески вниз, что способствует сокращению потребляемой энергии [10, 11].

Другим направлением для снижения энергозатрат может служить применение частотного электропривода взамен релейно-контакторных панелей, что способствует экономии электроэнергии до 40%. При использовании модулей рекуперации энергия торможения электропривода возвращается в питающую сеть [12].

На стадии выполнения строительно-монтажных работ необходимо осуществлять внедрение мероприятий, позволяющих повысить энергоэффективность строительства. Например, при выполнении бетонных работ при отрицательных температурах зачастую применяется метод электропрогрева. Для повышения эффективности этого метода целесообразно активно использовать компьютерные системы температурно-прочностного контроля. Программные продукты данного направления позволяют снизить энергопотребление при прогреве бетона, увеличить производительность труда и повысить качество работ по возведению монолитных конструкций в зимнее время.

К организационным мероприятиям можно отнести подъем сборных элементов в кассетах и стеллажах с размещением на монтажном горизонте. Это мероприятие способствует снижению числа подъемов и опусканий крюка крановых механизмов. Еще одним направлением может служить равномерное распределение нагрузки на электросеть, без явно выраженных пиков и падений. Это достигается путем поточной организации строительства и четкого соблюдения графика производства работ.

Значительную роль в повышении энерго- и ресурсосбережении строительства играет его организация. При разработке проекта организации строительства определяется потребность в воде, электроэнергии, топливе и тепловой энергии. Потребность строительства в воде подразделяется на хозяйственно-бытовые, технологические и пожарные нужды. Для сокращения потребления воды на бытовое обеспечение площадки рационально применять системы оборотного водоснабжения. Многократное использование воды в системе оборотного водоснабжения резко снижает количество свежей воды, потребляемой строительством, и количество сточных вод [13]. Кроме этого, такие системы необходимо использовать для мойки колес транспорта. Экономия воды на хозяйственно-бытовые нужды может достигаться за счет установки систем дозирования и аэрирования воды в душевых и умывальных комнатах.

Для сокращения потребления воды на технологические нужды целесообразно применение маловодных технологий выдерживания бетонов, обеспыливания и водных завес при производстве работ.

Весомую часть энергозатрат на строительной площадке занимает электроснабжение строительства.

Для освещения строительной площадки возможно использовать LED- светильники со встроенными аккумуляторами и солнечными батареями. Дополнительного сокращения потребления электроэнергии можно добиться применением автоматики, фиксирующей внешнюю освещенность и регулирующей силу светового потока. Освещение внутриплощадочных дорог и рабочих мест, где работы проводятся периодически, возможно

с применением источников света с датчиками движения. Согласно исследованиям, проведенным компанией «Unilight», данные мероприятия позволяют экономить до 50% электроэнергии [14].

Немалую экономию энергоресурсов можно получить при правильном подходе к теплоснабжению и кондиционированию бытовых помещений. Переход от отдельно стоящих вагончиков к сблокированным помещениям, применение систем рекуперации в вентиляционных системах и системах горячего водоснабжения, использование систем с автоматической регулировкой теплового излучения позволяет значительно повысить энергоэффективность строительства. При высоких начальных затратах, в результате многократного применения и мобильности, данные системы достаточно быстро себя окупают, и в дальнейшем будут служить для экономии. В частности, тепловой коллектор площадью 1 кв.м, установленный в Московском регионе, производит 117,95 кВт·ч/кв.м, при средней потребности для использования горячей воды на 1 человека от 2 до 4 кВт тепловой энергии в день [15].

Использование для обогрева помещений автономных источников теплоснабжения с количественно-качественным способом регулирования отпуска тепла, автоматизированных тепловых пунктов с погодозависимым регулированием существенно сокращает затраты на отопление, а как следствие - уменьшает вредные выбросы в атмосферу. Совмещение системы обогрева с системами вентиляции и кондиционирования позволит применять рекуперационные системы и снизить энергозатраты на нагрев и осушение воздуха.

Заключение. Хотя рассматриваемые технологии известны уже давно и применяются в ограниченном масштабе при строительстве индивидуальных зданий, необходима разработка комплексных решений для включения их в строительную практику на законодательном уровне. Основными препятствиями на пути массового внедрения мероприятий по энергосбережению при возведении зданий и организации строительной площадки являются увеличение капитальных затрат на строительство и отсутствие механизма возврата вложенных средств за использование энергосберегающих технологий.

Таким образом, могут быть сформулированы следующие задачи:

1. Создание условий экономической заинтересованности субъектов во внедрении новых технологий и экономии ресурсов в строительном производстве.
2. Для закрепления на законодательном уровне, необходимо внесение изменений в нормативные документы по организации строительства с учетом требований энергоэффективности и ресурсосбережения.
3. Формирование системного подхода к организации и управлению строительством с точки зрения энерго - и ресурсопотребления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Отношение объема потребления топливно-энергетических ресурсов к объему валового внутреннего продукта (ВВП) [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.rosstat.gov.ru/> – Дата доступа: 21.10.19.
2. Долаева, З. Н., Урусов, А. Р. Перспективность внедрения энергоэффективных технологий в строительстве [Электронный ресурс] / З.Н. Долаева, А.Р. Урусов // Молодой ученый. – 2016. –

- №26. – С. 32–35. – Режим доступа: URL <https://moluch.ru/archive/130/36039/>. – Дата доступа: 20.10.2019.
3. Методика расчета жизненного цикла жилого здания с учетом стоимости совокупных затрат // Национальное объединение проектировщиков –Москва: НОСТРОЙ - 2014. –72с.
  4. Геращенко, Р.В. Дроны в строительстве / Р.В. Геращенко // Вестник современных исследований. – 2018. –№ 11.5 (26). – С. 328–329.
  5. Крамаренко, А.В., Краснова, К.С. Анализ возможности использования дронов в современном строительстве /А.В. Крамаренко, К.С. Краснова // Наука и образование: новое время. – 2017. – № 6 (23). – С. 313–319.
  6. Коробов, Д.А. Использование беспилотных авиационных систем мониторинга линейных объектов [Электронный ресурс] / Д.А. Коробов// Электронный научно-практический журнал. – 2017-Май. – Режим доступа: URL: <http://www.mnvnauka.ru/2017/05/Korobow.pdf>. – Дата доступа: 21.10.2019
  7. JIN, Z., PAGILLA, P.R., MASKE, H. CHOWDHARY, G. Methods for Blended Shared Control of Hydraulic Excavators with Learning and Prediction[Электронный ресурс]/ Z. JIN, P.R. PAGILLA, H. MASKE, G. CHOWDHARY// Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control. – 2019. – pp. 1973–1978. – Режим доступа: URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/8619826>– Дата доступа: 21.10.2019.
  8. HEIKKILÄ, R., VILJAMAA, E., KAARANKA, A., MAKKONEN, T., PELTOMAA, I. Automated dynamic management of road construction sites[Электронный ресурс]/ R. HEIKKILÄ, E. VILJAMAA, A. KAARANKA, T. MAKKONEN, I. PELTOMAA // 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, ISARC 2014 – Proceedings. – 2014. – pp. 171-175. – Режим доступа: URL [https://www.iaarc.org/publications/2014\\_proceedings\\_of\\_the\\_31st\\_isarc\\_sydney\\_australia/automated\\_dynamic\\_management\\_of\\_road\\_constructionsites.html](https://www.iaarc.org/publications/2014_proceedings_of_the_31st_isarc_sydney_australia/automated_dynamic_management_of_road_constructionsites.html). – Дата доступа: 21.10.2019.
  9. Овчинников, И.В., Сивков, Е.Н. Использование современных приборов фирмы «TOPCON» для строительства/ И.В. Овчинников, Е.Н. Сивков // Сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2015 году. – 2016. – С. 225–230.
  10. HAO, Y., XIA, L., QUAN, L., ZHAO, B., CHENG, H., XIONG, X. Research on Characteristics of Heavy-load Lifting Machinery Based on Hydraulic-gas Energy Storage and Closed Displacement Controlled System/ Y.HAO, L. XIA, L. QUAN, B. ZHAO, H. CHENG, X. XIONG // Journal of Mechanical Engineering. – 2019. – No. 55(16).– pp. 213–219.
  11. Исаков, В.С., Ерейский, А.В. Повышение эффективности применения энергосберегающих технологий в процессах торможения подъемно-транспортных, строительных и горных машин/ В.С. Исаков, А.В. Ерейский// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2018. –№ 3 (199). – С. 80–88.
  12. HE, X., JIANG, Y., Review of hybrid electric systems for construction machinery/ X. HE, Y. JIANG // Automation in Construction. – 2018. – No.92. – pp. 286–296.
  13. Кадацкая, О.В., Санец, Е.В. Тенденции изменения водопользования в Беларуси / О.В. Кадацкая, Е.В. Санец, // Природопользование. – 2014. – № 25. – С. 82–90.
  14. Умное освещение [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL <https://unilight.ru/resheniya/ulichnoe-osveshhenie/>. – Дата доступа: 20.10.2019.
  15. Никитенко Е.Н., Старкова Л.Г. Анализ возможностей использования солнечных коллекторов для теплоснабжения пансионата в Московской области/ Е.Н. Никитенко, Л.Г. Старкова // Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции : ПАО "ФСК ЕЭС-КП МЭ", 2018. – С. 140–144.

УДК 69.05

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ

*О.В. Голушкова, А.М. Голушков, А.А. Титов*

Белорусско-Российский университет, Могилев

e-mail: f\_st@bru.by

*Рассматривается возможность использования BIM – технологий для повышения уровня автоматизации при календарном планировании строительства объектов. Проанализированы основные особенности использования программного обеспечения Primavera и Microsoft Project в организации строительства. Представлены положительные стороны применения BIM – технологий при разработке организации строительства.*

**Ключевые слова:** *технологии информационного моделирования, строительный генеральный план площадки, календарное планирование строительства объектов, организация строительства.*

## USE OF BIM-TECHNOLOGIES IN THE ORGANIZATION OF CONSTRUCTION OF OBJECTS

*O. Golushkova, A. Golushkov, A. Titov*

Belarussian-Russian University, Mogilev

e-mail: f\_st@bru.by

*The possibility of using BIM - technologies to increase the level of automation in the scheduling of construction projects is being considered. The main features of using the software Primavera and Microsoft Project in the organization of construction are analyzed. The positive aspects of the application of BIM - technologies in the development of the construction organization are presented.*

**Keywords:** *information modeling technologies, construction site master plan, scheduling of construction of facilities, construction organization.*

Строительная отрасль является многопрофильной структурой, способной быстро расширять объемы СМР в зависимости от потребностей народного хозяйства в целом. Увеличивая объемы производства, строительная деятельность стимулирует развитие смежных отраслей экономики. Сама строительная отрасль характеризуется большой материалоемкостью и насыщенностью различного рода ресурсами: трудовыми, материальными и техническими. Для обеспечения эффективной работы и достижения поставленных показателей требуется постоянный контроль за производительностью труда в строительстве и эффективным использованием ресурсов. Учитывать динамичный характер строительства в полной мере позволяют BIM – технологии, так как они основаны на применении специальных программных продуктов: Autodesk Revit, ArchiCAD, 3D Max,



Project Expert и Microsoft Project. В настоящее время эти технологии являются наиболее актуальными и эффективными. Согласно, принятых нормативных документов, в Республике Беларусь к 2022 году должен быть осуществлен переход к BIM - технологиям при возведении всех объектов, возводимых за счет средств республиканского бюджета.

Применение BIM – технологии повышает уровень автоматизации при проектировании объекта: создается 3D модель здания с учетом всех частей проектирования - архитектурной, конструктивной и коммуникативной, учитывающей оснащение зданий всеми видами инженерного оборудования, упрощается составление сметной документации и документации в сфере организации строительства.[1] При этом упрощается обмен необходимыми частями проектно-сметной документации и появляется возможность быстро производить анализ представленной информации, с учетом нормативных сроков строительства объекта и безопасности производства работ при их планировании. В настоящее время, генподрядчик, участвуя в проведении тендерных торгов, на стадии формирования конкурсных предложений о цене и сроках строительства может и не предполагать с какими трудностями придется столкнуться в реальном производстве, и зачастую работа может принести вместо дохода - убыток. С применением BIM – технологий, все становится прозрачно и всегда можно иметь точные сведения на основе представленных заказчиком данных об объекте – объемы предстоящих работ, сроках поставки необходимого технологического оборудования и финансовых поступлениях [2].

Календарное планирование строительства зданий предусматривает выбор методов и технологий строительства, способов возведения объекта, пространственного членения объекта на составляющие фронты работ, расчет продолжительностей выполнения работ, их взаимную увязку с учетом технологических и организационных особенностей и оценку требуемых трудовых, материальных и технических ресурсов для выполнения этих работ. Разработка сбалансированного календарного плана - работа серьезная, требующая значительных затрат рабочего времени инженера.

Основными программными продуктами, обеспечивающими календарное планирование строительства объектов с помощью BIM – технологий являются программы Primavera и Microsoft Project.

В Беларуси широко развито строительство по типовым сериям, особенно это относится к жилому строительству. Использование BIM – технологий при календарном планировании упрощает задачу посредством использования созданных единой для типовой серии шаблонов и привязкой к ним параметра «время».

Применение программ Primavera и Microsoft Project позволяет проектировать оптимальную последовательность возведения зданий, входящих в состав комплексов.

В своей работе мы рассмотрели основные особенности этих программ и возможности их использования в календарном планировании.

Программный комплекс Primavera позволяет управлять крупными проектами с многолетней длительностью, предусматривается работа с базой данных. Эта программа позволяет координировать работу всех участников проекта, независимо от количества уровней управления. Она автоматически рассчитывает критический путь, определяет загрузку ресурсов и устраняет ресурсные конфликты в рамках всех проектов, веду-

щихся генподрядчиком. С помощью этой программы можно реально оценивать ситуацию на строительной площадке и сравнивать с отчетами подрядных организаций, вводить фактические данные в графики работ и осуществлять прогнозирование развития проектов. Однако, при работе с данной системой пользователь сталкивается с избыточными требованиями к формализации процессов при принятии решения.

Программа “Microsoft Project” позволяет визуализировать календарные планы производства работ по возведению объекта с помощью диаграммы Ганта, анализировать объемы выполняемых работ и распределять ресурсы по задачам критического пути. С ее помощью можно сформировать список доступных для реализации проекта ресурсов. При использовании MS Project работа осуществляется в рамках отдельного файла. Работая в программном продукте MS Project понимаешь, что настройка отчетности требует подготовленного персонала в IT сфере для внедрения и принятое решение не обладает сильными средствами управления бюджетными показателями проектов, что особенно актуально в производственной сфере.

Мы проработали вариант создания календарного графика производства работ нулевого цикла в данных программах для жилого дома по бульвару Днепровскому в г. Могилеве (рисунок 1)

Работа в MS Project показала ее состоятельность и достаточную простоту в обращении и получении необходимых данных для определения продолжительности работ, потребности в трудовых и материально-технических ресурсах по периодам производства работ. Хотелось бы отметить, что система Primavera обладает меньшей простотой по отношению к программе MS Project, но она более глобальная и ее лучше использовать в реальном строительстве.

Сложность следующего этапа – этапа реального строительства заключается в решении организационно-технологических задач по реализации проекта здания в натуре: выполнение задач календарного планирования с автоматизированным подсчетом объемов работ, количества строительных материалов и оптимальными сроками возведения объекта; обеспечение рациональной поставки и использования материально-технических ресурсов; взаимоувязка большого количества исполнителей; расчленение здания на захватки; расположение бытового городка на строительной площадке; организация безопасного производства работ.

Для решения этих задач также можно использовать метод визуализации. Разработка строительного генерального плана площадки строительства с помощью BIM – технологий позволяет визуализировать решения принятые в календарном плане производства работ и определить возможные накладки в рабочем процессе с начала производства подготовительных работ и до сдачи объекта в эксплуатацию. Однако минусы при представлении стройгенплана только с помощью BIM – технологий заключаются в отсутствии привязок объектов временного строительства к существующим зданиям и между собой, что является очень важным для производителей. В связи с этим возникает необходимость представления наряду с наглядной картинкой стройгенплана представлять и стройгенплан со всеми привязочными размерами, выполненный в 2D с помощью программы Autodesk Autocad.

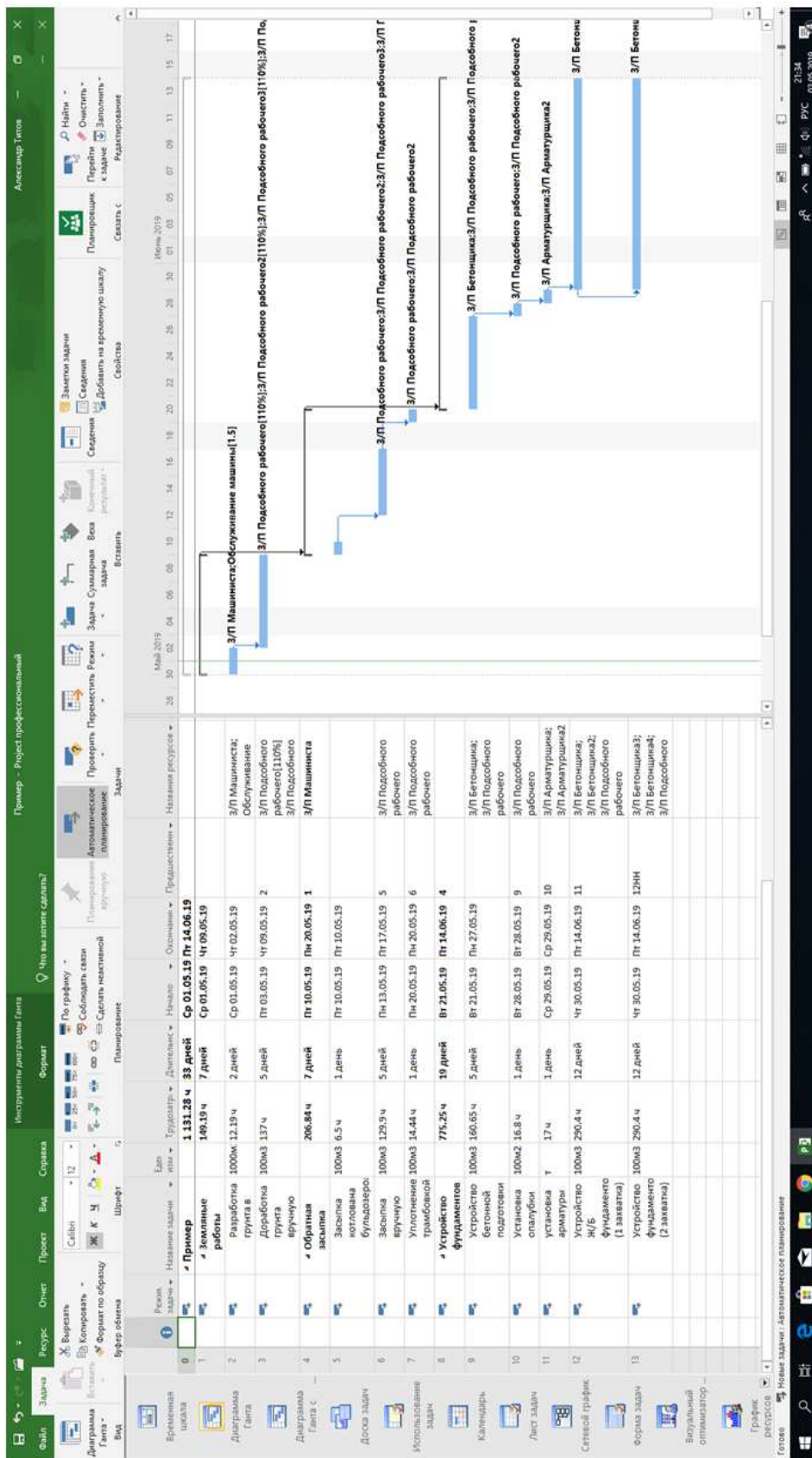


Рисунок 1. – Календарный график производства работ нулевого цикла, разработанный в программе “Microsoft Project”

Таким образом, мы рассмотрели положительные и возможные отрицательные моменты, возникающие с применением BIM – технологий при разработке раздела организации строительства. И пришли к выводу, что BIM помогает контролировать сроки, позволяет сокращать стоимость строительства, снижает количество ошибок в подсчете объемов и расхода материалов, минимизирует риски, позволит снизить уровень незавершенного производства и повысить эффективность капитальных вложений и производительность труда, что является особенно актуальным в настоящее время для народного хозяйства в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голушкова О.В. Технологии информационного моделирования зданий при строительстве/ А.В. Коляда, А.М. Голушков// Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в промышленности: материалы Междунар. научно-технич. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – 234-235 с. – 539 с.
2. Лустина О. В., Бикбаева Н. А., Купчиков А. М. Использование BIM-технологий в современном строительстве // Молодой ученый. — 2016. — №15. — С. 187-190.

УДК 330.342(476)

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

**Г.Н. Серяков**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: g.seryakov@psu.by

*В статье исследуются методологические аспекты организации строительства в условиях инновационного развития национальной экономики, связанного с формированием нового шестого технологического уклада в мировой экономике. Рассматриваются эволюционные взаимосвязи технологических укладов экономики, характер дифференциации и уровень преемственности технологических укладов при переходе мировой и национальных экономических систем с пятого на шестой технологический уклад в целях формирования методологии организации строительства в инновационной экономике, формирования механизмов эффективного развития строительства, как одной из несущих отраслей нового технологического уклада национальной экономики.*

**Ключевые слова:** методологические аспекты, организация строительства, инновации, развитие, экономика, технологический уклад, эволюционные взаимосвязи, дифференциация, механизмы.

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE CONSTRUCTION ORGANIZATION UNDER THE CONDITIONS OF INNOVATIVE ECONOMIC DEVELOPMENT

**G. Seryakov**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: g.seryakov@psu.by

*The article examines the methodological aspects organization of construction in the conditions of innovative development of the national economy associated with the formation of a new sixth technological mode in the global economy. The evolutionary interconnections of technological structures of the economy, the nature of differentiation and the level of continuity of technological structures during the transition of the world and national economic systems from the fifth to the sixth technological order are examined in order to formulate a methodology for the organization of construction in an innovative economy, to form mechanisms for the effective development of construction, as one of the main branches of the new technological way of national economy.*

**Keywords:** methodological aspects, organization of construction, innovation, development, economy, technological structure, evolutionary relationships, differentiation, mechanisms.

**Введение.** На современном этапе завершения пятого и начала развития шестого технологического уклада (ТУ), происходящих в мировой экономике, отечественная экономика продолжает испытывать необходимость в разрешении ряда серьезных задач стратегического характера направленных на достижение быстрого роста конкурентного потенциала национальной экономики за счет наращивания сравнительных преимуществ в науке, образовании, высоких технологиях с ориентацией на мировые тенденции развития экономики, рассматриваемые в сочетании с внутренними проблемами развития белорусской экономики, включая: усиление глобальной конкуренции; приближение новой волны технологических изменений, усиливающих роль и значение инноваций в социально-экономическом развитии государств, поступательно вытесняющих многие традиционные факторы роста национальных экономик; усиление роли человеческого капитала как ключевого фактора экономического развития на фоне замедления роста значимости сырьевых и энергетических ресурсов; исчерпание возможностей эффективного развития национальной экономики за счет использования относительной дешевизны производственных факторов. Решение перечисленных стратегических задач особенно актуально в преддверии ожидаемого мирового экономического кризиса начала 2020-х годов, обусловленного сменой пятого ТУ шестым, который ожидается гораздо более масштабным, чем мировой экономический кризис 2008–2009-х годов.

Переход на инновационный путь развития и формирование нового технологического уклада требует ускоренного обновления основных фондов и производственных мощностей практически во всех отраслях национальной экономики. Для решения этой задачи, наряду с решением проблем стратегического характера развития национальной экономики, необходимо обеспечить и высокий уровень хозяйствования в строительстве.

Для этого необходимо изменить теоретические и методические основы организации строительства или инвестиционно-строительной деятельности при строительстве новых, расширение, техническое перевооружение и капитальном ремонт действующих производственных мощностей.

**Основная часть.** Для выработки методологических основ организации строительства в современной инновационной экономике прежде всего необходимо осознать и рассматривать организацию строительства как экономическую категорию, а не техническую, как это порой делалось в прошлой плановой командно-административной экономике. Организация – это составная часть и функция управления в плановой командно-административной или менеджмента в рыночной экономике. Управление – это процесс планирования, организации, мотивации и контроля, необходимый для того, чтобы сформулировать и достичь цели организации.

Организация – это прежде всего люди, которые действуют сообща для достижения целей, а в существующей практике образовательного процесса, а затем и при организации строительства выпускниками высших учебных заведений эти понятия подменяются выстраиванием неких графиков производства работ, а точнее проектированием строительного производства.

В строительстве различают два уровня управления организацией, которые имеют свои методологические основы: управление капитальным строительством в плановой экономике или инвестиционно-строительной деятельностью в современной рыночной

экономике – верхний уровень и управление производством строительно-монтажных работ или управление строительно-монтажной организацией - нижний уровень.

В условиях глобализации мировой экономики, обострения конкурентной борьбы на сырьевых и товарных рынках и перехода экономики на инновационный путь развития, резко сокращается жизненный цикл производственных технологий и созданных для их использования зданий и сооружений.

Поэтому для выживания и дальнейшего развития экономики Республики Беларусь необходимо изменить подходы к организации строительства с целью рационального использования инвестиционных ресурсов и снижения затрат на всех стадиях строительства.

В основе рассуждений о необходимости создания и воспроизводства основных фондов должны лежать маркетинговые исследования материальных и трудовых потоков, жизненного цикла производственных технологий и производимых на их основе товаров и услуг.

Сегодня любой промышленный или гражданский объект уже на стадии проектно-изыскательских работ необходимо рассматривать как логистическую систему, которая создаётся или уже существует для удовлетворения потребностей определённых рынков в определённых товарах и услугах.

Эта логистическая система должна быть способной развернуться в нужном месте на определённый срок и свернуться (утилизироваться или переместиться в пространстве в материальном потоке) после достижения целей её создания и максимально-возможного экономического эффекта от её промышленной эксплуатации с минимальными инвестиционными издержками.

Тенденция всеобщей унификации производственного пространства в объектах промышленного и гражданского назначения ломает существующие рамки и так долго существовавшее разделение промышленного строительства по отраслям, на основе которого развивалась теория и практика промышленного строительства в ближайшее время перестанет существовать.

Объекты всех отраслей должны будут представлять собой унифицированное пространство, где смогут размещаться различные по содержанию процессы. Общая линия развития этой тенденции выглядит так: от объекта укрытия для машин и механизмов в XVIII–XIX вв., через объект, вмещающий конкретный технологический процесс, в XX в., к объекту оболочке, способной разместить разные процессы в XXI в.

В последние годы особенно усилилась роль инноваций, формирующих новый шестой технологический уклад, технологическое оборудование стало компактнее и производительнее, совершенствование возможностей по созданию микроклимата в помещении позволило применять разнообразные конструктивные решения, в результате чего появилось большое количество пространственных решений зданий.

К настоящему времени уже нельзя, в большинстве случаев, ассоциировать какое-либо конструктивное решение промышленного здания с той или иной отраслью производства. Отраслевая типология, определявшая пространственные решения промышленных зданий индустриального периода, перестает оказывать решающее влияние на конструктивные решения зданий.

Важнейшим методологическим аспектом организации инвестиционно-строительной деятельности в современной инновационной экономике является выявление содержания и направлений развития нового шестого технологического уклада мировой экономики.

К настоящему времени в экономической науке выделяют шесть технологических укладов, циклы которых по продолжительности эквивалентны большим циклам экономической активности Н.Д. Кондратьева [1].

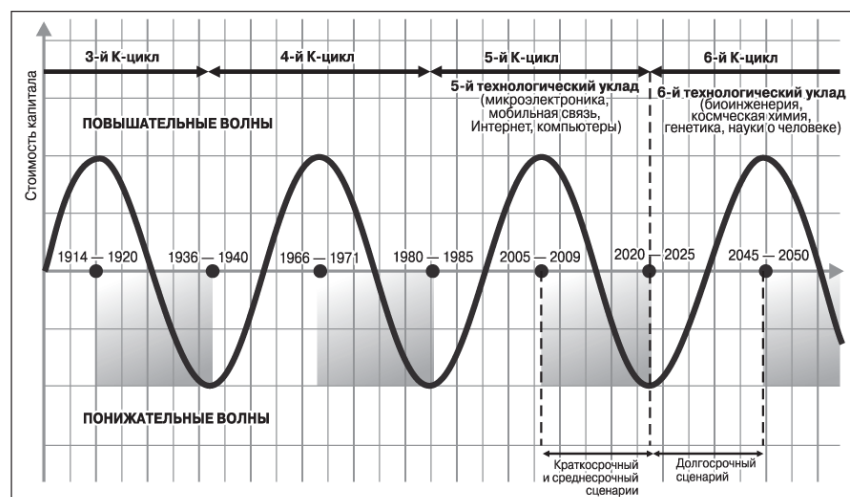


Рисунок 1. – Большие циклы экономической активности Н.Д. Кондратьева

Жизненные циклы технологических укладов и производственные основы их формирования приведены на рисунке 2.

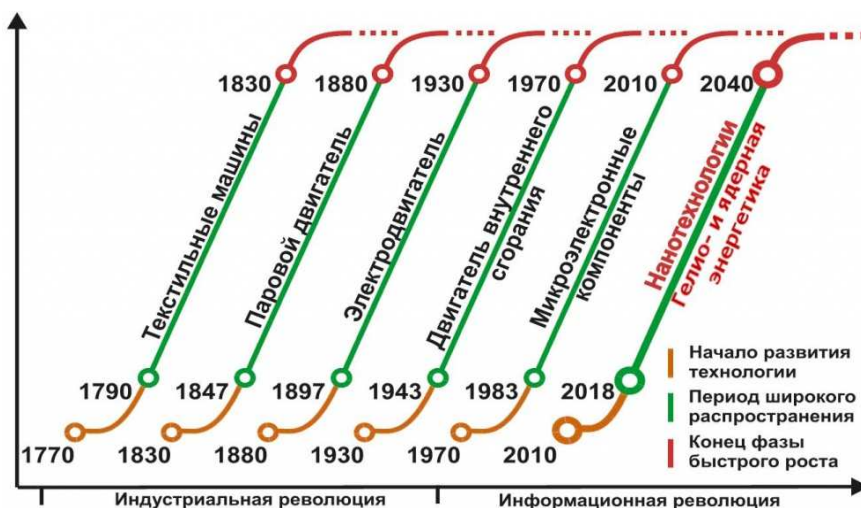


Рисунок 2. – Жизненные циклы технологических укладов и производственные основы их формирования

Источник: [2].



Проведенные аналитические исследования показали, что выделяемые академиком С.Ю. Глазьевым структура уклада и сопутствующий К-цикл по сути являются составляющими одного большого цикла экономической активности, распределение составляющих которого представлено на рисунке 3.

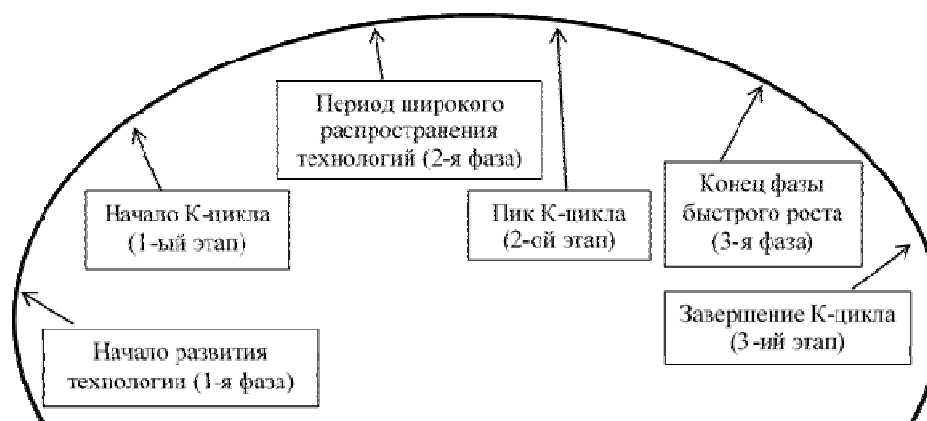


Рисунок 3. – Описание большого цикла экономической активности через структуру уклада и сопутствующий К-цикл как составляющими единого цикла

Источник: [3].

Таким образом, на основании проведенных аналитических исследований можно утверждать, что фазы структуры технологического уклада и этапы сопутствующего К-цикла образуют шесть звеньев единого большого цикла экономической активности Н.Д. Кондратьева.

По аналогии можно прогнозно описать характер развития шестого технологического уклада, представив его фазами структуры технологического уклада и этапами сопутствующего К-цикла в единой цепочке (табл. 1).

Таким образом, содержание и направления развития нового шестого технологического уклада мировой экономики определяется следующими признаками дифференциации технологических укладов, определяющие характер их преемственности.

Во-первых, средняя продолжительность каждого ТУ составляет примерно 50 лет, что соответствует длительности больших циклов экономической активности Н.Д. Кондратьева (по различным оценкам от 48 – 53 лет до 40 – 60 лет).

Во-вторых, приведенное описание технологических укладов демонстрирует, что они могут быть представлены примыкающими друг к другу циклами, в которых происходит наложение 1-й фазы – начала развития технологий, следующего ТУ на 3-й этап – завершение цикла экономической активности в рамках предыдущего ТУ.

В-третьих, если временная дистанция между фазами структуры уклада, как и между этапами сопутствующего К-цикла составляет в среднем 20 лет, что соответствует длительности средних циклов экономической активности (строительных циклов С. Кузнеца), то временная дистанция между началом фазы структуры уклада и началом следующего за ними этапа К-цикла (и наоборот) составляет в среднем 10 лет, что соответствует длительности малых циклов экономической активности (банковских циклов К. Жугляра).

Таблица 1. – Прогнозное описание характера развития шестого технологического уклада

Фазы и этапы ТУ	Годы	Содержание
1-я фаза	2020-е	Начало развития нанотехнологий (наноэлектроники, молекулярной и нанофотоники, наноматериалов и материалов с наноструктурированными покрытиями, нанобиотехнологий, наносистемотехники) и других высоких технологий, включая информационные как основных производственных факторов
1-й этап	2030-е	Период быстрого роста использования нанотехнологий (начало К-цикла) и других высоких технологий за счет нахождения инженерных решений резкого снижения энергоёмкости и материалоёмкости производства
2-я фаза	2040-е	Период широкого распространения (пространственной диффузии) нанотехнологий (наноэлектроники, молекулярной и нанофотоники, наноматериалов и материалов с наноструктурированными покрытиями, нанобиотехнологий, наносистемотехники) и других высоких технологий, включая: биотехнологии, генную инженерию, квантовые технологии, мембранные технологии, технологии мобильной робототехники, мехатроники, микромеханики, прототипирования, термоядерной энергетики, фотоники
2-ой этап	2050-е	Период пика предпринимательского использования нанотехнологий и других высоких технологий за счет массового создания продукции с заданными свойствами
3-я фаза	2060-е	Конец фазы быстрого роста использования нанотехнологий и других высоких технологий
3-ий этап	2070-е	Завершение этапа доминирующего использования технологий шестого технологического уклада.

Таким образом, временная дистанция между началом фазы структуры технологического уклада и началом следующего за ним этапа К-цикла соответствует второму полупериоду реализации строительного цикла (его понижательной волне). Эквивалентная временная дистанция между началом К-цикла и следующего за ним началом фазы структуры технологического уклада соответствует первому полупериоду реализации строительного цикла его повышательной волне.

В свою очередь малый (банковский) цикл экономической активности К. Жугляра полностью охватывает временную дистанцию между началом фазы структуры технологического уклада и началом следующего за ним этапа К-цикла (и наоборот), включая в себя тем самым как процесс аккумуляирования капитала на новые технологии или производства, так и процесс активного использования накопленных инвестиций.

Важнейшим признаком формирования нового технологического уклада в экономике является благоприятное сочетание амплитудно-фазовых характеристик совокупности циклов экономической активности, включая: большие циклы экономической активности Н.Д. Кондратьева, средние циклы экономической активности С. Кузнеца, малые циклы экономической активности К. Жугляра, бизнес-циклы экономической активности Дж. Китчина.

При этом суперпозиция множества указанных волн экономической активности различной амплитуды и длительности определяет:

- формирование максимумов экономической активности как периодов расцвета технологических укладов,
- формирование минимумов экономической активности как периодов смены технологических укладов.

На нижнем уровне управления и организации строительства задача стоит в существенном снижении себестоимости, повышении технического уровня и качества строительно-монтажных работ, повышении эффективности использования трудовых, материальных и технических ресурсов отрасли, а для этого необходимо, опираясь на опыт экономически развитых стран, изменить методологические подходы к управлению строительным производством.

В строительном производстве РБ по-прежнему преобладает традиционная, генеральная форма управления, в то время как на Западе преобладает профессиональное проектное управление, содействующее ликвидации присущей строительству раздробленности по этапам и обеспечивающее значительное сокращение инвестиционного цикла.

В управлении строительным производством предстоит освоить современные методы работы в двух основных направлениях – компьютеризация и профессиональное управление. Основная идея этого опыта состоит в том, управление производством – не вид деятельности, которым может заниматься любой человек, а самостоятельная, отдельная профессия, требующая соответствующих навыков и знаний.

Для руководителей строительного производства сейчас недостаточно иметь только инженерные знания. Присущие рынку жесткие условия конкуренции разворачивают строительные фирмы лицом к потребителю. Появилась необходимость изучать потенциальных заказчиков, информировать их о своих возможностях и достоинствах, а получив заказ тщательно исследовать поставщиков и субподрядчиков.

Все это представляет для белорусских строителей такие направления управления деятельностью строительных организаций как маркетинг и менеджмент. Маркетинг и менеджмент представляют собой две неразрывные стороны управления, при этом первый выступает в роли генератора целей, а второй призван обеспечить их достижение.

Строительство в новом шестом технологическом укладе будет являться одной из несущих отраслей. Ядром нового технологического уклада строительной отрасли станут энергоэффективные технологии, которые вытеснят «традиционные технологии» в ближайшие годы

Строительство в настоящее время является одной из важнейших сфер национальной экономики, участвующей в воспроизводстве основных фондов, развитии и улучшении социальной сферы, реконструкции и модернизации производства материальных благ.

К целевым индикаторам развития строительной отрасли относятся: рост производительности труда в строительстве в 1,5 раза; увеличение экспорта подрядных работ в 1,5 раза; снижение энергоемкости строительно-монтажных работ на 50 – 70 процентов.

Поэтому основными направлениями развития методологии управления и организации строительного производства в технологическом аспекте должны стать:

- внедрение новых инновационных технологий в строительстве, обеспечивающих ресурсосберегающий тип воспроизводства строительной продукции (материалов, работ, услуг);

- разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий возведения зданий и сооружений с эффективным использованием материальных ресурсов и возобновляемых энергоисточников;

- внедрение европейских стандартов проектирования, возведения и эксплуатации жилья, что позволит расширить развитие всестороннего и взаимовыгодного сотрудничества со странами Европейского союза и увеличить экспорт строительных работ (услуг);

материально-техническое оснащение строительно-монтажных организаций на принципиально новой технологической и организационной основе в целях повышения мобильности и способности осуществлять экспорт строительной продукции.

**Выводы.** Методологические аспекты организации строительства в условиях формирования нового технологического уклада мировой экономики можно разделить на три группы: экономический, организационный и технологический.

Формирования методологии организации строительства в экономическом аспекте — это взгляд на организацию строительства как на экономическую категорию, а не техническую. Организация — это составная часть и функция управления. Управление — это процесс планирования, организации, мотивации и контроля, необходимый для того, чтобы сформулировать и достичь цели организации. Организация — это прежде всего люди, которые действуют сообща для достижения целей организации.

Формирование методологии организации строительства в организационном аспекте — это взгляд на строительство как на систему, имеющую два уровня управления организацией, которые имеют свои методологические основы: управление инвестиционно-строительной деятельностью в современной рыночной экономике — верхний уровень и управление производством строительно-монтажных работ или управление строительно-монтажной организацией — нижний уровень.

Формирования методологии организации строительства в технологическом аспекте — это взгляд на развитие строительства в условиях нового технологического уклада экономики и соответствующие изменения технологических и организационных основ строительного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев, Н. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения / Н. Кондратьев, Ю. Яковец, Л. Абалкин // Избранные труды. — М. : Экономика, 2002. — 767 с.
2. Глазьев, С. Ю. Великая цифровая революция: вызовы и перспективы для экономики XXI века [Электронный ресурс] / С. Ю. Глазьев // glazev.ru. — Режим доступа: <https://glazev.ru/articles/6-jekonomika/54923-velikaja-tsifrovaja-revoljutsija-vyzovy-i-perspektivy-dlja-jekonomiki-i-veka>.
3. Серяков, Г. Н. Исследование проблем формирования механизмов эффективного развития экономики промышленности в условиях смены технологических укладов / Г. Н. Серяков. — Новополюк: Полоцк. гос. ун-т, 2018. — 204 с.

УДК 351.778.532

## ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СОЦИАЛЬНОГО ЖИЛЬЯ

**В.В. Титок**

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

e-mail: tytok.vv@knuba.edu.ua

*Исследуется актуальный вопрос обеспечения социальным жильем населения Украины. Проблема повышения обеспеченности жильем требует дальнейшего развития жилищного хозяйства в Украине, эффективного привлечения инвестиций и совершенствования организационно-экономического механизма государственного регулирования инвестиционной деятельности в этой отрасли экономики.*

**Ключевые слова:** доступное жилье, социальное жилье, жилищная политика, кредитование строительства жилья

## ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC ASPECTS OF DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION OF SOCIAL HOUSING

**V. Tytok**

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

e-mail: tytok.vv@knuba.edu.ua

*The actual issue of providing social housing to the population of Ukraine is being investigated. The problem of increasing housing provision requires further development of housing in Ukraine, effective attraction of investments and improvement of the organizational and economic mechanism of state regulation of investment activity in this sector of the economy.*

**Keywords:** affordable housing, social housing, housing policy, housing construction lending

Решение жилищной проблемы сегодня рассматривается как приоритетная задача во многих странах мира. Что касается Украины, необходимо отметить, что подходы к ее выработке только формируются. В общем, жилищная политика государства характеризуется такими аспектами, как нехватка государственных средств для финансирования строительства жилья, которое будет передано малообеспеченным слоям населения; правовая база, которая имеет декларативный характер и не предусматривает механизмов строительства и содержания фонда социального жилья.

Жилищный вопрос является чрезвычайно болезненным для Украины, поскольку в государстве возникает ситуация, когда часть людей долгосрочно ожидает получения квартиры, находясь в очереди, а другие, окончательно отчаявшись, за деньги приобрели квартиры, заработав деньги за границей или приняв участие в государственных жилищных программах, а многие смирились с «домашним общежитием», когда в малогабаритных квартирах проживает три-четыре поколения.

Согласно данным Государственной службы статистики Украины, количество семей и одиночек, которые находятся на квартирном учете, сократилось с 2636 тыс. в 1990 г. до 657 тыс. в 2014 г.. Однако, анализируя приведенные статистические данные, можно сделать вывод, что сокращение количества семей и одиночек, которые находятся на квартирном учете в течение 1990-2014 гг. произошло не путем предоставления им пригодного для проживания жилья, а в силу других обстоятельств (смерть лиц, находящихся на квартирном учете, самостоятельное улучшение жилищных условий и т.д.) [1].

Право на жилье как возможность владения, пользования и распоряжения им на современном этапе считается должной нормой цивилизованного общества. В соответствии со ст. 47 Конституции Украины каждый имеет право на жилище. Государство создает условия, при которых каждый гражданин будет иметь возможность построить жилье, приобрести его в собственность или взять его в аренду. Гражданам, нуждающимся в социальной защите, жилище предоставляется государством и органами местного самоуправления бесплатно или за доступную для них плату в соответствии с законодательством [2].

Важным моментом при реализации социальной жилищной политики должно быть четкое определение критериев рыночной и социальной доступности жилья.

Основным критерием рыночной доступности жилья является время, в течение которого гражданин может улучшить свои жилищные условия. Этот временной параметр (коэффициент доступности жилья) зависит от уровней доходов населения и цен на рынке жилья (и рынка потребительских кредитов), а также объема бюджетных средств, которые государство способно и готово направлять на поддержку жилищного обеспечения граждан. По этому параметру выделяется та часть населения, которая по своим доходам, сбережениями и другим активам способна самостоятельно обеспечить себя жильем путем приобретения его в собственность (в том числе, с помощью ипотечных кредитов) или рыночной аренды.

Для определения доступности ипотечных кредитов необходимо установить предельную долю доходов, которую граждане могут направлять на погашение кредитов. Размер месячных платежей по кредитам не должен превышать определенную на общегосударственном уровне долю совокупного бюджета домохозяйства (семьи).

Для граждан, нуждающихся в помощи со стороны государства по реализации права на жилье, следует использовать критерий социальной доступности жилья.

Основным критерием социальной доступности жилья является время, в течение которого гражданин может реализовать свое право на жилье, получив на условиях безвозмездного пользования, социального или некоммерческого найма, или приобретя в собственность посредством участия в социальных жилищных программах жилье, соответствующее приемлемым современным представлениям о комфорте. При этом расходы за проживание в нем должны составлять приемлемую долю семейного дохода. Этот критерий определяет уровень государственного (и муниципального) участия в социальной защите малоимущих и социальной поддержке других малообеспеченных групп населения.

Важным условием обеспечения надлежащего развития строительной отрасли в Украине является формирование действенных механизмов, которые бы сочетали механизмы государственного управления и рыночного саморегулирования.

Основными государственно-управленческими механизмами надлежащей реализации гражданами права на жилище и обеспечения жильем граждан должны выступать: 1) организационно-управленческий; 2) нормативно-правовой; 3) финансовый; 4) информационный.

Организационно-управленческий механизм является одним из центральных составляющих государственного механизма регулирования строительной отрасли, поскольку именно через его рычаги влияния реализуются основные управленческие решения, которые определяют уровень развития отрасли как в отдельных регионах страны, так и в государстве в целом.

Организационно-управленческий механизм строительной отрасли должны формировать государственные и негосударственные организационно-правовые структуры, которые формируются на различных уровнях и реализуют принятые решения через доступные им рычаги влияния, в соответствии с предоставленными им полномочиями, то есть путем нормативно-правового регулирования, налоговой и финансовой политики, информационного обеспечения и тому подобное. Указанные средства воздействия могут быть эффективными и обеспечат достижение основной цели организационно-управленческого механизма только при условии четкого разграничения полномочий на различных уровнях управления и при надлежащем контроле соблюдения ими установленных стратегических целей и соблюдения норм действующего законодательства.

Эффективный организационно-правовой механизм должен действовать на принципах прозрачности, открытости, эффективного привлечения и распределения финансовых ресурсов, экономичности, оперативности и активного сотрудничества с другими, в частности негосударственными органами и организациями, которые заинтересованы в развитии строительной отрасли. Одной из основных задач этого механизма должно быть создание благоприятных условий как для нормального функционирования, так и для развития строительной отрасли. Развитие мировой системы глобализированной экономики, в современных условиях, требует особых подходов к построению, и надлежащего функционирования, организационно-управленческого механизма, в котором должны учитываться региональные, общегосударственные, евроинтеграционные и мировые уровни. Наиболее взаимосвязанным и требующим четкого распределения полномочий, с целью обеспечения эффективной реализации государственной политики в строительной отрасли, является организационно-управленческий механизм на общегосударственном и региональном уровнях.

Оптимальной структурой управления строительной отраслью должны совмещаться структуры всех указанных уровней, которые бы взаимно дополняли друг друга и направляли совместные усилия на определение и достижение стратегических задач, целей и решений.

На сегодня в Украине реализуется ряд программ по обеспечению граждан жильем, распорядителем средств в которых принадлежит Министерству регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины [3-10].

Разнообразие механизмов использования средств, предусмотренных в государственном бюджете по соответствующей бюджетной программе, главных распорядителей бюджетных средств и ответственных исполнителей бюджетной программы,

распорядителей бюджетных средств низшего уровня и объектов, на приобретение которых могут быть направлены бюджетные средства, вызывает неудобства при закупке жилья для указанной категории граждан и трудности при закупке жилья по разным бюджетным программам в одном жилом доме.

По источникам финансирования можно выделить следующие способы получения жилья лицами, которые нуждаются в улучшении жилищных условий:

1. Полное финансирование из государственного или местного бюджета, то есть бесплатное получение гражданами жилья (по общей очереди, вне очереди, в первую очередь, социальное жилье).

2. Частичное привлечение государственных (муниципальных) средств и частных средств (государственные или региональные жилищные программы).

3. Покупка жилья за собственные, частные средства (путем накопления собственных средств дома, на банковских депозитах, получение кредита от застройщика, получения ипотечного кредита в финансовых учреждениях).

Решение проблемы повышения доступности жилья нуждается в улучшении соответствующего финансового обеспечения. Одной из первоочередных задач экономической политики должно быть налаживание стабильных финансовых потоков в форме инвестиций в строительство с целью повышения координации между темпами формирования рынка ипотечных кредитов и недвижимости. Отставание темпов наращивания предложения жилья от увеличения объемов денежных вложений в ипотечное жилищное кредитование населения может привести к нарушению равновесия между спросом и предложением и, соответственно, росту цен на рынке недвижимости. Одним из эффективных механизмов, который способствует активизации строительства, является налоговое регулирование. Налоговые освобождения могут предоставляться из государственного бюджета застройщикам, которые участвуют в государственных строительных программах. Такой механизм позволит государству стимулировать строительство социального и доступного жилья без существенных денежных вложений из бюджета [12].

Таким образом, эффективно функционирующая система ипотечного жилищного кредитования, которая основана на дифференцированном подходе к различным категориям граждан и охватывает инвестиционно-строительную деятельность, механизмы надежного накопления средств населения и долгосрочное ипотечное кредитование в сочетании с адресной государственной поддержкой, способно существенно способствовать решению проблемы обеспечения жильем граждан.

Одним из вариантов реализации политики государства в сфере активизации строительной отрасли, обеспечения населения доступным, высококачественным и комфортным жильем можно считать установление уполномоченными государством органами низших процентных ставок по кредитам на строительство или приобретение жилья населению по сравнению с процентными ставками коммерческих и частных банков; разработка государственно-управленческих механизмов и принятие мер их реализации для обеспечения доступности получения гражданами кредитов на строительство или приобретение жилья, то есть повышение экономической привлекательности для населения ипотечных жилищных кредитов; создание сети строительных операторов, кото-



рые непосредственно получали бюджетные средства, выделяемые в рамках реализации государственной жилищной политики, а также имели механизмы привлечения других, в том числе частных и кредитных, средств; повышение привлекательности ипотечного жилищного кредитования для банковского сектора, в частности увеличение размеров ипотечных кредитов, целенаправленной нормативной правовой и экономико-социальной деятельности Национального Банка Украины; создание надлежащих условий для роста положительной динамики притока долгосрочных финансовых ресурсов, частных средств и иностранных инвестиций в ипотечное жилищное кредитование; восстановление и замену устаревшего жилого фонда на основе привлечения инвестиционных ресурсов и обеспечения реконструкции жилых домов первых массовых серий с проведением комплексной застройки территорий и рационального использования земель путем оптимизации плотности застройки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Статистические данные [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua>. — Дата обращения 15.09.19
2. Конституція України від 28.06.1996 р. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.portal.rada.gov.ua>. — Дата обращения 15.09.19
3. Деякі питання забезпечення громадян доступним житлом. [Электронный ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2018 р. № 819. — Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/819-2018-%D0%BF>. — Дата обращения 15.09.19
4. Державний фонд сприяння молодіжному житловому будівництву. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://www.molod-kredit.gov.ua/>. — Дата обращения 15.09.19
5. Порядок надання державним службовцям, які відповідно до законодавства потребують поліпшення житлових умов, безвідсоткового кредиту для житлового будівництва або придбання квартир чи індивідуальних житлових будинків [Электронный ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України № 182 від 18.02.2004 р. — Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/182-2004-%D0%BF>. — Дата обращения 15.09.19
6. Порядок використання коштів, передбачених у державному бюджеті для забезпечення житлом громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи [Электронный ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України № 1198 від 23.11.2011 р. — Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1198-2011-%D0%BF>. — Дата обращения 15.09.19
7. Порядок використання коштів, передбачених у державному бюджеті для забезпечення житлом інвалідів війни [Электронный ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України № 503 від 23.05.2012 р. — Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/503-2012-%D0%BF>. — Дата обращения 15.09.19
8. Порядок використання коштів, передбачених у державному бюджеті для забезпечення житлом воїнів-інтернаціоналістів [Электронный ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України № 223 від 09.03.2011 р. — Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/223-2011-%D0%BF>. — Дата обращения 15.09.19
9. Порядок використання коштів, передбачених у державному бюджеті для будівництва (придбання) житла для військовослужбовців, звільнених у запас або відставку, для відселення їх із закритих та віддалених від населених пунктів військових гарнізонів [Электронный ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України № 157 від 04.03.2013 р. — Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/157-2013-%D0%BF>. — Дата обращения 15.09.19

10. Про житловий фонд соціального призначення [Електронний ресурс]: Закон України № 3334-IV від 12.01.2006 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3334-15>. – Дата об-  
ращення 15.09.19
11. Козик, В.В. Соціальне та доступне житло: проблеми формування та фінансування / В.В. Козик,  
Л.І. Дончак // Регіональна економіка: Науково-практичний журнал. – 2009. – № 3. – С. 169–  
174.
12. Можливі напрями удосконалення житлової політики в Україні. Аналітична записка. – Націо-  
нальний інститут стратегічних досліджень. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<http://www.niss.gov.ua/Monitor/May08/10.htm>. – Дата об-  
ращення 15.09.19
13. Рейкін В.С. Аналіз та оцінка доступності придбання житла в Україні / В.С. Рейкін // Економіка:  
проблеми теорії і практик. У 6 т. Том II. – Дніпропетровськ, 2009. – Випуск 248. – С.364–372.
14. Ушацький, С.А. Організаційно-економічні основи формування та розвитку ринку доступного  
житла: монографія / С.А. Ушацький, А.В. Сердюк. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 176 с.

УДК 625.7

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*С.А. Дергунов, З. Бердигулова, А.Ю. Спирина*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*В данной статье отображены и рассмотрены основные проблемы в проектировании и строительстве автомобильных дорог, приведены причины проявления несоответствий. Произведен детальный анализ некачественности исполнения соответствующих работ на различных этапах: финансовом, технологическом и т.д. Раскрывается проблема внедрения и адаптация перспективных технологий в современных условиях.*

**Ключевые слова:** дорожное строительство, проблемы, коррупция, финансирование, технологии, выкуп земель, транспорт, инновация.

## ACTUAL PROBLEMS IN THE ORGANIZATION OF ROAD CONSTRUCTION

*S. Dergunov, Z. Berdigulova, A. Spirina*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: dergunow79@mail.ru, alla\_ish@mail.ru

*This article shows and discusses the main problems in the design and construction of roads. There are also and provides reasons for non-conformities. It was made the detailed poor quality analysis of the corresponding works depending of financial, technological and other stages. The problem of introduction and adaptation of promising technologies in modern conditions is revealed.*

**Keywords:** Road construction, problems, corruption, finance, technology, redemption of land, transport, innovation.

Транспортная инфраструктура, как крупных городов, так и мелких населенных пунктов является основополагающим фактором их динамичного развития и функционирования по направлениям предприятий промышленности, сельского хозяйства, снабжения и торговли. Особая роль отводится значению эволюции внешнеэкономических связей, обороноспособности страны, освоению новых экономических районов.

Таким образом, дорожное строительство и развитие транспортной инфраструктуры является важнейшей частью технико-экономической системы, что является наиболее актуальным вопросом для Российской Федерации, территория которой исчисляется более чем 17 млн км<sup>2</sup>.

Состояние дорожно-транспортной инфраструктуры важно для роста уровня и качества жизни населения. Несмотря на разнообразие транспорта, выбор конкретного вида зависит от их технической характеристики, безопасности, протяженности и возможностей доступа. Для одного это может быть предпочтение отправиться в путешествие на личном автомобиле или поездом, а может быть самолетом. Для другого — каким ви-

дом транспорта доставлять готовую продукцию до потребителя. К сожалению, возможна безальтернативная ситуация, что, несомненно, будет влиять на конечное решение.

Специалистами отмечается ряд наиболее распространенных проблем в организации дорожного строительства и выделяются основные факторы, которые влияют непосредственно на качество автомобильных дорог, к числу которых, несомненно, необходимо отнести финансовую, экономическую и технологическую составляющие, внедрение перспективных технологий.

Коррупция, недостаток финансирования, а часто его несвоевременность оказывает значительную роль на качество дорожного покрытия. По данным Национального антикоррупционного комитета коррупционная составляющая в дорожном строительстве может достигать до 10%. Это происходит по причине бесперебойного финансирования дорожной отрасли, основная часть средств которых отводится на дорожные работы. Здесь также определяющим является отсутствие прозрачности проектной деятельности и четкого, полностью профинансированного проекта.

Если говорить о несвоевременности финансирования, то достаточно часто фиксируются факты выделение средств на строительство дорог с приходом дождей или с первым снегом, которые необходимо осваивать сразу, чтобы не попасть под сокращение бюджета в следующем году.

К финансовым рискам также можно отнести целевой выкуп земель перед строительством дороги, что позволяет некоторым владельцам неоправданно завышать цены, а часть из них и вовсе отказываются идти на последующие компромиссы. Если покупку не удалось совершить, то это происходит в судебном порядке. В итоге суд в большинстве случаев обявляет собственника освободить землю, но данные мероприятия сказываются на сроках начала работ. Впрочем, в местах прохождения будущей дороги встречаются как сараи стоимостью до 100 тыс. руб., так и по-настоящему шикарные дома с садом и пристройками, цена которых исчисляется десятками миллионов. Поэтому если окажется, что в месте застройки находится достаточное количество добротных зданий, то это становится основной статьей расходов, и затраты на выкуп будут колоссальными.

К технологической проблеме относится применение низкокачественного битума, изготавливаемого из нефтяных отходов и характеризующегося низкой устойчивостью к старению. Последние годы ознаменованы появлением организаций, производящих высококачественные модифицированные битумные вяжущие, но их производственных мощностей пока катастрофически не хватает для дорожной отрасли. Сюда же можно отнести нарушения технологий при строительстве дорог. Асфальтобетон укладывается холодным, плохо уплотняется, часто фиксируются нарушения в компонентных составах асфальтобетона и т. д. Стоит добавить низкий уровень применения цемента при строительстве дорог, так как цементобетонные дороги в несколько раз долговечнее асфальтобетонных.

Применение устаревших технологий, методик при проектировании и строительстве автомобильных дорог, использование многими организациями устаревших материалов, оборудования непосредственно влияет на качество дорог. Так нередко можно наблюдать ситуацию, когда дорожники при помощи ломов или отбойных молотков устраняют, отработавший свой срок, асфальт (рисунок 1.). После этой процедуры в ход идут ручные катки, чья масса может достигать 50 кг., или однотонники ДУ-95 или ДУ-54М-2 массой 2,2 т.

В некоторых случаях халатность проявляют сами строители, нарушая правила использования, хранения материалов, заменяя на более дешевые аналоги, которые не адаптированы к данным климатическим условиям.

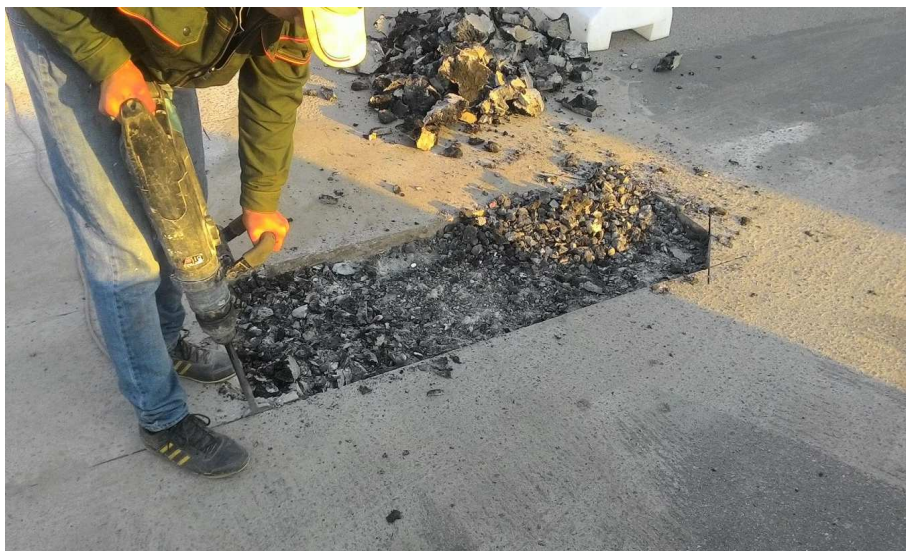


Рисунок 1. – Дорожник с отбойным молотком

Внедрение инноваций является актуальным для российского рынка дорожного строительства. Основными проблемами этого процесса можно назвать поиск и передачу новых технологий и управление процедурой внедрения их в строительное производство. В настоящее время организации ощущают недостаток собственных средств, финансовой поддержки со стороны государства для внедрения инновационных технологий. Кроме того, высокий экономический риск и длительные сроки окупаемости нововведений препятствуют их внедрению и освоению в производственном процессе. Специалистами отмечается недостаточное развитие институтов, активная деятельность которых должна стимулировать связи между научными и учебными организациями с инновационными компаниями, между крупными компаниями и малым бизнесом и т. д., что затрудняет процесс передачи новых технологий в производство.

Программные комплексы, используемые при проектировании автодорог, в большинстве организаций являются устаревшими, где возможны допущения ошибок в расчетах, проектировании, некачественном исполнении проектной документации. Одно из наиболее доступных для малого бизнеса решений в данном направлении является применение BIM-проектирования (Рисунок 2.).

Как показывает практика, 3D-модель объекта позволяет более чем на 20% сократить сроки проектирования, на 30% снизить стоимость строительства и на 5—10% уменьшить финансовые издержки на дальнейшую эксплуатацию объекта. Несмотря на преимущества данного проектирования, активное его применение на текущий момент затруднительно, так как имеется ощутимый дефицит квалифицированных кадров.

Необходимо отметить, что применение инновационных материалов становится экономически оправданным на этапе возведения и последующей эксплуатации

дорожного покрытия. Именно новые технологии призваны повысить безопасность дорожного движения и качество автомобильных дорог.



Рисунок 2. – Обработка и создание презентационных материалов

На каждом этапе, как подготовительном, так и непосредственно во время строительства дороги требуются значительные трудовые, денежные и моральные затраты, грамотное планирование и аккуратный подход к выполнению всей работы, что служит залогом обеспечения беспрецедентного качества и долгой службы объектов транспортной инфраструктуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Якунина, Л. В., Кожухова, Е. С. Проблемы дорожного строительства и пути их решения [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2016. – №6.3. – С. 48–51. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/110/27178/>. –Дата доступа: 11.10.2019.
2. BIM-технологии в инфраструктуре: взвешиваем все «за» и «против» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/25525>. –Дата доступа: 11.10.2019.
3. Новые известия. Дороги России: Реальность и Обещания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://newizv.ru/article/tilda/13-03-2019/dorogi-rossii-realnost-i-obeschaniya>. – Дата доступа: 11.10.2019.
4. Всероссийский отраслевой интернет-журнал «Строительство.RU» Подводные камни дорожного строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rcmm.ru/dorozhnoe-stroitelstvo/26658-podvodnye-kamni-dorozhnogo-stroitelstva.html>. – Дата доступа: 19.10.2019.
5. Проблема качества дорог в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nauchniestati.ru/bank/primery/nauchnaja-statja-na-temu-problema-kachestva-dorog-v-rossii/>. – Дата доступа: 19.10.2019.
6. Строительство дорог: актуальные проблемы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://navro.org/stroitelstvo-dorog-aktualnye-problemy/>. – Дата доступа: 19.10.2019.

Секция V

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ  
РЕШЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 625.7/.8.05

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*П.М. Гламаздин, А.Д. Гламаздина*

Киевский национальный университет архитектуры и строительства, Украина  
e-mail: sib.kiev@gmail.com.

*В статье рассмотрена проблема выравнивания ночного провала в использовании электроэнергии при помощи теплоаккумуляционных систем теплоснабжения, использующих электроэнергию в качестве источника теплоты. Предложены решения с использованием тепловых аккумуляторов с теплоаккумулирующим материалом в виде высокотемпературных органических теплоносителей (ВОТ) в комбинации с другими источниками теплоты для покрытия пиковых нагрузок.*

***Ключевые слова:** электроотопление, аккумуляторы теплоты, прерывистое отопление, ночной провал электропотребления, теплоаккумулирующий материал.*

USING HEAT BATTERIES FOR ELECTRICAL SYSTEMS HEAT SUPPLIES

*P. Glamazdin, A. Glamazdina*

Kiev National University of Architecture and Construction, Ukraine  
e-mail: sib.kiev@gmail.com.

*The article considers the problem of leveling the night gap in the use of electricity using heat storage heat supply systems that use electricity as a source of heat. Solutions using heat accumulators with heat-accumulating material in the form of high-temperature organic heat transfer fluids (BOT) in combination with other heat sources to cover peak loads are proposed.*

***Keywords:** electric heating, heat accumulators, intermittent heating, night power failure, heat storage material.*

Резкое снижение промышленного производства в Украине с соответствующим снижением потребления электроэнергии, особенно в ночной период, обострило проблему «ночного провала» электропотребления. Проблема обостряется тем, что в Украине около половины электроэнергии генерируется на атомных электростанциях [1], которые необходимо эксплуатировать в стабильных режимах [2].

Тепловые нагрузки приходится покрывать тепловыми электростанциями в условиях, когда оборудование почти всех украинских тепловых электростанций давно

выработало свой паспортный ресурс [3], что делает использование их в качестве пикового резерва достаточно сложным и чрезвычайно энергозатратным процессом и ускоряет их износ.

Проблема ночного уменьшения потребления электроэнергии в полной мере касается и теплоэлектроцентралей крупных городов.

В этих условиях одним из путей решения проблемы видится использование электроэнергии в целях теплоснабжения с ночным аккумулярованием теплоты, полученной в электропотребляющих аппаратах во время ночных «провалов». Уменьшение ночных «провалов» позволяет повысить коэффициент заполнения графика электрической нагрузки  $\mu_{\max}$  [4].

$$\mu_{\max} = \frac{E}{N_{e \max} \tau} \quad (1)$$

где

$E$  – общее количество выработанной электроэнергии, кВт/час;

$N_{e \max}$  – максимальная нагрузка, кВт;

$\tau$  – время работы электростанции, час.

Чем больше  $\mu_{\max}$ , тем более эффективно используется оборудование электростанций и соответственно повышается их к.п.д. и снижается себестоимость выработанной электроэнергии и теплоты для теплоэлектроцентралей.

В Советском Союзе в северных регионах был накоплен большой опыт использования электроэнергии для целей теплоснабжения [5], объединенный в рекомендациях по проектированию подобных систем [6,7]. Однако, при наличии девятичасовых поясов и Единой энергетической системы, позволявшей перебрасывать избытки электроэнергии из одного региона в другой, проблема ночного «провала» потребления электроэнергии не стояла так остро, как сейчас в Украине. Как следствие исследований по проблеме использования аккумуляторов теплоты, заряженных с помощью электроэнергии ночью, в большом объеме не проводилось.

В настоящее время в Украине проводятся исследования в этом направлении, хотя и недостаточно активно. Тем не менее, используя советский опыт [7], стандарты других стран, был разработан и принят к исполнению нормативный документ, регламентирующий проектирование и эксплуатацию энергоаккумуляционного отопления греющим кабелем в полах [8]. Однако эти системы не могут решить проблемы ночного провала в полной мере в силу целого ряда причин. Устройство электрической системы аккумулярования теплоты в полу возможно только при новом строительстве. Тепловая емкость аккумулятора, реализующего этот способ, ограничена нормируемой температурой поверхности пола. Подобный аккумулятор имеет низкие динамические характеристики, что означает неудовлетворительные свойства по регулированию теплоотдачи в помещении.

Вообще говоря, принципиально устройство для аккумулярования теплоты с помощью электроэнергии можно использовать в двух системах – системе горячего водоснабжения и системе отопления. Эти системы сильно различаются по своим динамическим качествам. Системы горячего водоснабжения имеют два пика потребления воды в



течение суток с ускоренным водоразбором. Системы отопления могут работать с гораздо меньшими перепадами нагрузок. Однако в обоих вариантах время зарядки аккумуляторов теплоты для них ограничено ночными часами «провала» потребления электроэнергии. Подобные обстоятельства накладывают ограничения на выбор теплоаккумулирующего материала, которых может быть довольно много, как и способов аккумуляции теплоты вообще [9,10].

Реально для аккумуляции теплоты в системах теплоснабжения в качестве теплоаккумулирующих веществ наиболее подходящими являются жидкие теплоаккумулирующие вещества. Для небольших систем горячего водоснабжения принято использовать воду. Однако, их объем ограничен 2м<sup>3</sup>. Если нужен большой объем, то такие аккумуляторы соединяют по несколько штук в единый блок. Но для систем отопления этот прием не дает возможности реализовать способ, поскольку объемы нужны на порядок и более выше. Так, для реализации системы отопления административного здания строительным объемом 37 тысяч м<sup>3</sup> необходим объем водяного аккумулятора 296 м<sup>3</sup> при ограничении температуры воды в нем на уровне 95 °С [11]. И это здание далеко не самое большое. К тому же ночью его можно переводить в дежурный режим отопления, т.е. снижать температуру воздуха в нем до 10–12 °С, что уменьшает общую нагрузку на систему и, соответственно, необходимый объем аккумулятора. Учитывая последнее обстоятельство, целесообразно в этих случаях использовать прерывистое отопление, которое дает возможность уменьшать мощность системы отопления примерно на 15% в зависимости от качества теплоизоляционной оболочки здания [12]. Однако использование этого приема кардинально проблему неприемлимо больших размеров водяных аккумуляторов не решает.

Следующим шагом в направлении уменьшения объемов может быть организация режимов отопления с «натопом», т.е. повышением температуры внутри отапливаемого помещения в часы «провала» несколько выше нормируемой и подключения обогрева в конце рабочего дня в случае нехватки «натопа». Подобный режим показан на рисунке 1.

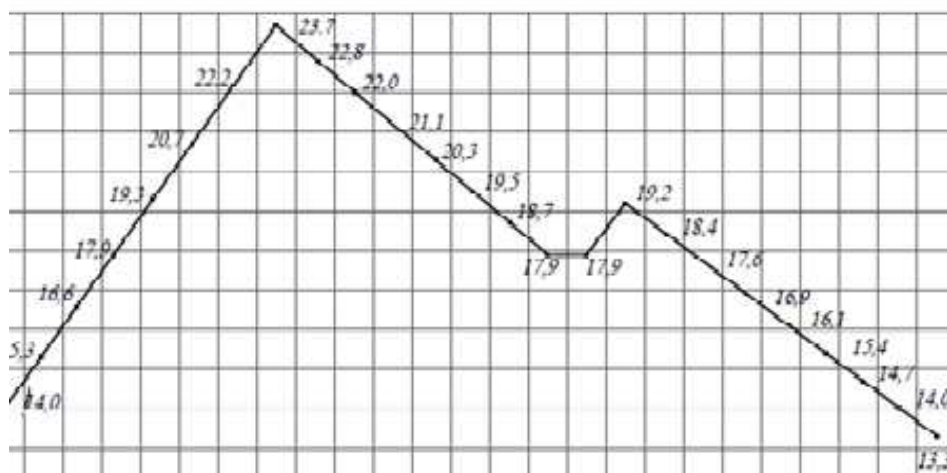


Рисунок 1. – Суточный график температуры воздуха в помещении при использовании теплоаккумуляционной системы с «натопом» и догревом

Но в любом случае режимы с прерывистым отоплением и натопом можно использовать только для зданий, в которых пребывание людей не круглосуточно и, следовательно, возможна организация внутренних тепловых режимов с разными температурными уровнями. Это административные здания, здания учебных заведений, большинство торговых предприятий. Для жилого фонда и больниц такие режимы неприемлемы и, следовательно, надо искать другие пути уменьшения объемов аккумуляторов. Из балансового уравнения запаса теплоты в аккумуляторе (2) следует, что нужно увеличивать теплоемкость аккумулирующего вещества или повышать температуру этого вещества в аккумуляторе.

$$Q = V \cdot C \cdot \Delta T \quad (2)$$

где

$Q$  – тепловая емкость аккумулятора, кДж;

$V$  – объем аккумулятора, м<sup>3</sup>;

$C$  – теплоемкость теплоаккумулирующего вещества, кДж/ кг °С;

$\Delta T$  – разность температур между теплоаккумулирующим материалом в аккумуляторе и необходимой температурой теплоносителя, °С.

Относительно теплоемкости необходимо отметить, что вода и так имеет наибольшую теплоемкость среди природных жидкостей, а использование фазового перехода плавление – затвердевание в аккумуляторах неприемлемо ухудшает его динамические характеристики. Остается путь повышения температуры в аккумуляторе. Вода в этом отношении не является лучшим теплоаккумулирующим материалом, поскольку ее термодинамические свойства (резкое возрастание давления насыщения при подъеме температуры воды в жидком состоянии) затрудняют ее использование.

В качестве альтернативы видится использование в качестве теплоаккумулируемого материала высокотемпературных органических теплоносителей. Их термодинамические свойства вполне удовлетворяют требованиям нужного давления насыщения при высоких температурах – при давлении 0,2-0,3 МПа некоторые жидкости этого класса не кипят при температурах 300 °С и даже выше. При этом теплоемкость этих жидкостей достаточно высокая – 0,7-0,8 ккал/кг °С [13], что составляет 70-80 % от теплоемкости воды. Жидкости не взрывоопасны и не токсичны, коррозионно не активны. Использование таких веществ в качестве теплоаккумулирующих может уменьшить объем аккумулятора в три раза. В приведенном выше примере с административным зданием объем аккумулятора уменьшается с 296 м<sup>3</sup> до 100 м<sup>3</sup>.

Применяя перечисленные выше приемы уменьшения мощности системы отопления за счет прерывистого отопления объем аккумулятора можно уменьшить еще. В конце концов можно использовать комбинированные источники теплоты – летом для горячего водоснабжения и большую часть отопительного сезона для отопления – это будет электроаккумуляционное теплоснабжение, а в наиболее холодный период отопительного сезона это может быть напрямую электрообогрев, газовая котельная или же система централизованного теплоснабжения.

**Выводы.** Для снижения ночных провалов в потреблении электроэнергии можно использовать электроаккумуляционные системы теплоснабжения.

1. В качестве теплоаккумулирующих веществ для аккумуляторов теплоты необходимо использовать высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ).
2. При неприемлемо большом объеме аккумулятора теплоты можно использовать комбинированные системы теплоснабжения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шидловский, А.К. Паливно – енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / М.П.Ковалко. – К: Україна енциклопедичні знання, 2001. – 397 с.
2. Яковлев, Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. – М: Новости теплоснабжения, 2008. – 448 с.
3. Клепиков, В.Б. Экономический энергоресурсосберегающий и экологические аспекты экономии электроэнергии в Украине / С.А. Мехович. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – №12. – 2016. – С. 27–33.
4. Мелентьев, А.А. Системы исследования в энергетике / А.А. Мелентьев. – Наука, 1979. – 415с.
5. Орлов, В.А. Электроотопление зданий на Севере / В.А. Орлов, И.К. Квач, Ю.Г. Кротов. – Л: Стройиздат, 1981. – 64 с.
6. Морозов, В.В. Рекомендации по применению электроэнергии для теплоснабжения жилых и общественных зданий / В.В. Морозов, Р.Н. Троицкий, С.Н. Муромский. – Цент.НИИ и проектноэкспериментальный институт инженерного оборудования. – М.: Стройиздат, 1976. – 58 с.
7. Квач, И.К. Руководство по проектированию и устройству обогреваемых полов жилых и общественных зданий, строящихся в Северной климатической зоне / И.К. Квач, В.Н. Горбунов, Н.Д. Шкляров. – Красноярский Промстрой НИИ проект Минтяжстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 104с.
8. Електрична кабельна система опалення: ДБН В.2.5-24-2003. – Затверджений наказами Державного комітету будівництва і архітектури від 8 вересня 2003 р. №153 та від 30 грудня 2003 р. №228 і введені в дію з 1 червня 2004 р. [Електронний ресурс]. URL: [https://dnapr.com/html/30157/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D\\_%D0%92.2.5-24-2003](https://dnapr.com/html/30157/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%92.2.5-24-2003). – Дата звернення 05.09.2019.
9. Бекман, Г. Тепловое аккумулярование энергии / Г. Бекман, П. Гили. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
10. Левенберг, В.Д. Аккумулярование тепла / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем. – Киев: Техніка, 1991. – 153 с.
11. Гламаздин, П.М. Комбіновані системи теплопостачання з використанням електроенергії / А.Д. Гламаздіна // Нова тема. – №4 (23). – 2009. – С. 26–28.
12. Фаликов, В.С. Энергосбережение в системах тепловодоснабжения зданий / В.С. Фаликов, – М.: ГУП «ВИМИ», 2001. – 164 с.
13. Wagner, Walter: Wärmeträgetechnik mit organischen Medien / Walter Wagner. – 6. Aufl. – Verlag Dr. Ingo Resch GmbH, p. 199.

УДК 697.34:697.444

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*А.В. Антипова, В.М. Мельников*

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: vmmtgv@mail.ru, 89206262361@mail.ru

*В статье освещаются вопросы и пути совершенствования систем теплоснабжения промпредприятий, методы проведения испытаний, анализа исходных данных и полученных результатов.*

*Ключевые слова:* энергосбережение, обследование, методики, расчёты.

## SYSTEM IMPROVEMENT HEAT SUPPLY OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

*A. Antipova, V. Melnikov*

Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov, Russian Federation  
e-mail: vmmtgv@mail.ru, 89206262361@mail.ru

*The article highlights the issues and ways of improving the heat supply systems of industrial enterprises, methods of testing, analysis of initial data and the results obtained.*

*Keywords:* energy saving, examination, methods, calculations.

Совершенствование систем теплоснабжения является довольно-таки известной и широко разрабатываемой темой для учёных, исследователей и практиков, работающих в области теплоснабжения. Или специалистов, связанных с данной областью по роду своей деятельности смежно и косвенно. Системы теплоснабжения промышленных предприятий часто являются закрытой темой, ибо выносить на суд широкой общественности параметры работы таких систем собственники, как правило, не горят желанием. Сказать что-то новое довольно-таки трудно, но, тем не менее, публикации по данной тематике будут продолжаться, т.к. ещё больше вопросов остаётся не выясненными.

К дальнейшим исследованиям подталкивает и неизбежный прогресс как в материалах для систем теплоснабжения и технологиях их использования, так и общественно-политической жизни страны. Всё большее число граждан хотели бы видеть совершенную, энерго- и ресурсосберегающую технологию производства, транспортировки, регулирования и распределения тепловой энергии. Тем более плата за тепловую энергию является наиболее весомой составляющей в общем списке

коммунальных для населения и производственно-технических для предприятий платежей.

Совершенствование системы теплоснабжения промышленного предприятия может быть проведено как в рамках внутренней стратегии предприятия на снижение ресурсо- и энергопотребления собственными силами, так и с привлечением сторонних сертифицированных организаций с высокопрофессиональным, квалифицированным и мобильным коллективом, оснащённым необходимым набором поверенного измерительного оборудования и вооружённым современными методиками измерения, обработки и формализации полученных данных.

Существующий Федеральный Закон об энергосбережении дополнен изменениями в ряде статей и соответствующих пунктов в целом свидетельствующих о том, что государство для многих потребителей обязанность проведения обязательного энергетического обследования заменило обязанностью о предоставлении декларации о потреблении энергетических ресурсов [1]. Можно считать это верным направлением, т.к. обязательность энергообследования зачастую становилась формальностью, создавался отчёт и укладывался на полку. К тому же на волне обязательности появилось множество сомнительных фирм-временщиков с лицензиями, вполне хорошо оснащённые оборудованием и методиками, но неважно умеющие обработать, систематизировать информацию, сделать выводы, дать нужные рекомендации. И немалые финансовые затраты за сомнительную работу.

Хотя практика показала, что энергоаудит, проводимый при живом и заинтересованном участии принимающей стороны (заказчик) становится реальной работой и планами на будущие изменения и снижения энерго- и ресурсопотребления. Может быть и другая крайность, в результате которой специалисты, проводящие энергообследования, идут на поводу и выполняют волю заказчика, хотя такие действия противоречат здравому смыслу и нарушают реальную картину, сглаживают противоречия.

Какой бы не была форма обследования предприятия, или предыдущие методики энергоаудита, или современное формирование декларации, тем не менее, такие обследования проводятся и в настоящее время, не столь формализованные и задекларированные [2].

Основной статьёй расхода энергоресурсов многих промышленных предприятий остаются затраты на тепловую энергию. Особенно, если технология выпуска продукции связана с нагревом до значительных температур сырья, продукции. К таким относятся предприятия по выпуску стеклянной продукции, и одно из таких предприятий во Владимирской области было подвергнуто энергоаудиту. Основной задачей энергосбережения являлась выработка практических рекомендаций по снижению затрат тепловой энергии.

Перед обследованием была поставлена цель - оценка эффективной работы и безопасной эксплуатации системы теплоснабжения. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Получение объективной информации о системе теплоснабжения и теплопотребления.
2. Оценка технического состояния трубопроводов, арматуры и изоляции надземных участков тепловых сетей на территории предприятия.
3. Составление фактической схемы теплоснабжения на территории предприятия с обозначением, длин и диаметров трубопроводов тепловых сетей, корпусов.
4. Гидравлический расчет водяных тепловых сетей от котельной до потребителей на территории предприятия в программном комплексе ГИС «Zulu 7.0».
5. Анализ фактического распределения тепловой нагрузки, потерь в тепловых сетях, составление пьезометрических графиков.
6. Разработка рекомендаций по перекладке участков тепловых сетей с изменением диаметра трубопроводов.
7. Проведение тепловизионного обследования надземных участков тепловых сетей в отопительный период.
8. Разработка перечня мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Перечень задач показывает, что все вышеуказанные задачи направлены на совершенствование системы теплоснабжения промышленного предприятия и решались последовательно в преддверие и в течение отопительного периода.

Получение объективной информации основывалось на обработке известных и полученных данных и их систематизации. Это сведения о зданиях, находящихся на балансе, источниках теплоты, котлах-утилизаторах, расчётов нормативных показателей и их сравнение с реальными затратами тепла и констатация факта, что расход топлива котельной на отпущенную тепловую энергию практически равен нормативному значению.

Оценка технического состояния проведена по данным имеющейся схемы отдела энергетики предприятия, визуальным наблюдением и замерами. Задача решалась точнее, т.к. фактически все трубопроводы тепловой сети находятся надземно на опорах различной высоты. Произведена оценка состояния тепловой изоляции.

Составлена фактическая схема теплоснабжения на территории предприятия для последующего гидравлического и теплового расчётов. Авторы прошли очное обучение в г. Санкт-Петербурге по программе ZuluThermo с получением соответствующих сертификатов.

Поэтому следующая задача «Гидравлический расчёт» была решена именно в данном расчётно-программном комплексе, являющийся, по оценкам экспертов и пользователей, лучшим в России [3]. Комплекс Zulu дал возможность ввести все исходные данные, оценить реальные составляющие параметров тепловой сети и рассчитать исходный вариант и сопоставить полученные результаты с фактическими данными. Следует отметить, что абсолютного совпадения не получилось, это объективно, но расхождение  $\pm 5 - 10\%$  можно считать в пределах допуска.

Фрагмент итогов гидравлического расчёта показан в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты гидравлического расчёта

Начало участка	Конец участка	Длина, м	Диаметр под. трубопровода, м	Диаметр обр. трубопровода, м	Вид прокладки тепловой сети	Период работы тр-да	Теплоизоляционный материал под.и обр.тр-да
1	2	3	4	5	6	7	8
Утил. 5	Утил. 5	4,2	0,21	0,15	Внутри пом.	Весь год	Изол 1
Утил. 6	Утил. 6	4,91	0,21	0,15	Внутри пом.	Весь год	Изол 1
Утил. 5	цех ветка на СКВ	20	0,21	0,15	Внутри пом.	Весь год	Изол 1
Утил. 6	Утил. 5	30	0,21	0,15	Внутри пом.	Весь год	Изол 1
цех ветка на СКВ	подъём на опору	9,6	0,05	0,05	Надземная	Зимний период	Стекловолокно

Окончание таблицы 1

Толщ. изоляц. под.и обр. тр-да, м	Техническое состояние изоляции под.и обр.тр-да	Расход воды в под. трубопроводе, м <sup>3</sup> /ч	Расход воды в обр. трубопроводе, м <sup>3</sup> /ч	Потери напора в под. трубопроводе, м	Потери напора в обр. трубопроводе, м	Тепловые потери в под. трубопроводе, ккал/ч	Тепловые пот. в обр. трубопроводе, ккал/ч
9	10	11	12	13	14	15	16
0,06	УД. техн. сост.	65,0298	-64,7867	0,008	0,048	136,33	76,55
0,06	УД. техн. сост.	25,8266	-25,8266	0,002	0,009	159,38	89,45
0,06	УД. техн. сост.	90,8529	-90,6151	0,077	0,447	649,09	364,53
0,06	УД. техн. сост.	25,8261	-25,8269	0,01	0,055	973,72	546,77
0,05	незнач. разр. по кров.основ.	1,241	-1,2367	0,013	0,013	518,9	354,6

Следующая задача «Анализ фактического распределения тепловой нагрузки...» выполнялась путём сопоставления полученных данных и расчётов по нормативным документам. Фактическое количество выработанной тепловой энергии утилизаторами рассчитано из результатов фактических замеров тепловой мощности утилизаторов. Фактическое количество выработанной тепловой энергии котельной рассчитано по данным фактического месячного расхода природного газа на котельной (рисунок 1).

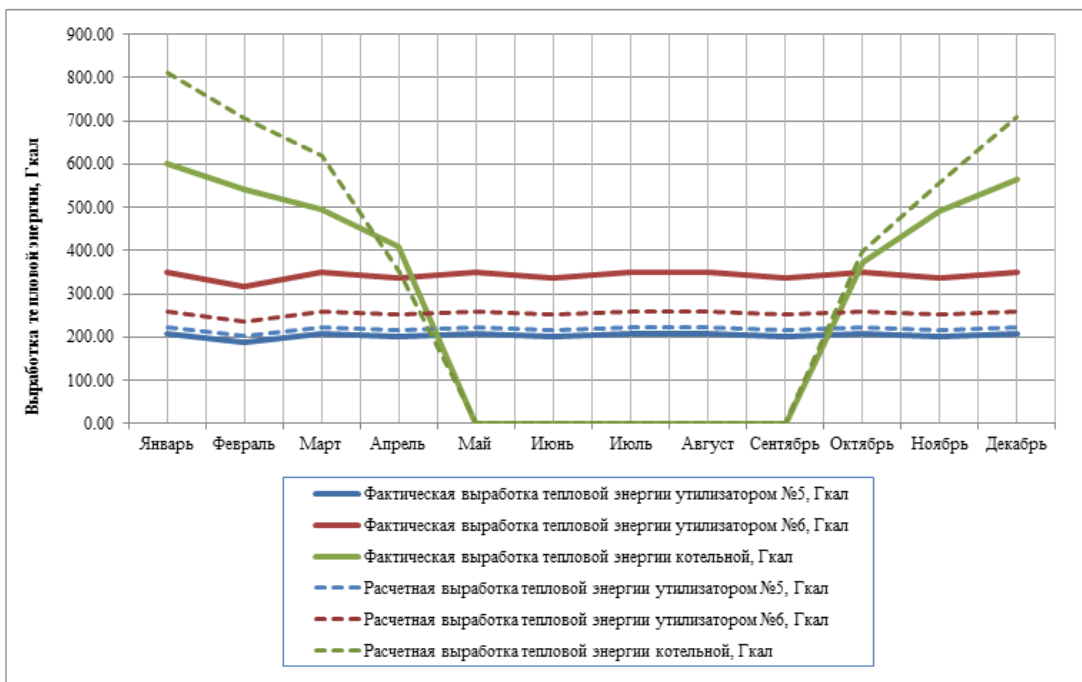


Рисунок 1. – Сравнение фактической выработки тепловой энергии котельной и утилизаторами с расчетными значениями по месяцам

По результатам расчетов можно сделать вывод, что фактическая выработка тепловой энергии меньше расчетных значений в отопительный период январь-март, ноябрь-декабрь. Фактическая выработка тепловой энергии котельной меньше требуемой выработки тепла котельной на нужды отопления и ГВС в отопительный период.

В результате анализа фактической тепловой мощности источников тепла, расчета тепловой нагрузки на отопление зданий, расчета потерь тепла через изоляцию трубопроводов выявлен дефицит установленной мощности источников тепла в 0,26 Гкал/ч или 0,3 МВт.

Анализ фактического распределения тепловой нагрузки также производился по результатам расчёта в Zulu, следует отметить возможность формирования базы данных и их последующей формализации. Построены пьезометрические графики, пример показан на рисунке 2.

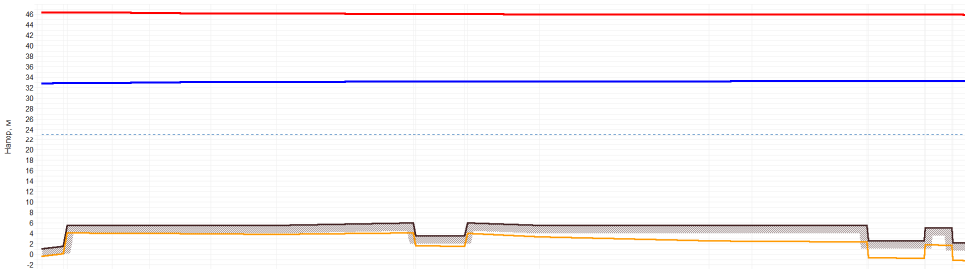


Рисунок 2. – Пьезометрический график магистральной линии



Функция «Поверочный расчёт» программы дала возможность определить фактические расходы теплоносителя и количество тепловой энергии, получаемой потребителем при заданном температурном графике и располагаемом напоре на источнике.

Данные пьезометрического графика, такие как располагаемый напор, потери напора, длина и диаметр участка, скорость и расход теплоносителя дают полное представление о гидравлическом режиме выбранного направления. В целом гидравлический режим необходимо контролировать, отслеживать и выстраивать самим разработчикам, расчётная программа является быстрым, наглядным, но всё же инструментом.

Рекомендации по перекладке участков тепловых сетей были даны по результатам анализа гидравлического расчёта с сопоставлением данных по замерам величин давлений в узловых точках сети и расходов теплоносителя при помощи ультразвукового расходомера. Исходя из принципа оптимальных потерь удельного давления, даны рекомендации по изменению диаметра трубопроводов, приуроченного, как правило, к плановым ремонтам и реконструкции тепловой сети.

Проведенный тепловизионный контроль по всем нормативному документу [4] дал яркую визуальную картинку тепловых потерь, которая может быть полезна для нахождения мест повреждения теплоизоляции, утечек тепла. Но численные значения температур могут быть приняты лишь ориентировочно, для тепловых расчётов их точность недостаточна.

Результатом проведённой работы явились таблицы, графики и другие данные, анализ которых позволил сделать следующие выводы:

1. Необходима замена тепловой изоляции на участках тепловой сети (даётся перечень участков и предлагается современный теплоизоляционный материал)
2. Установка дросселирующих устройств в системе отопления потребителей как результат расчёта в программе Zulu.
3. Установка дополнительного источника тепла как результат анализа теплового баланса системы теплоснабжения.

В заключение следует отметить, что результаты обследования были приняты заказчиком (служба энергетика предприятия). Специалисты данной службы принимали участие на всех этапах обследования и были заинтересованы в получении достоверной и нужной для последующей практики информации. Можно считать такую заинтересованность одной из важнейшей составляющей обозначенной выше цели энергетического обследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федер. Закон, 23 ноября 2009 г., № 261-ФЗ : в ред. от 26.07.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://legalacts.ru/doc/> . – Дата доступа : 04.11.2019.

2. Требования к проведению энергетического обследования и его результатам и правила направления копий энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования : Приказ Минэнерго РФ №400 от 30.06.2014 с изм. и доп. от 13.01.2016 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ivo.garant.ru/>. – Дата доступа : 04.11.2019.
3. ZuluThermo [Электронный ресурс] // Политерм. – Режим доступа: URL: <https://otivent.com/raschet-teplovoj-nagruzki-na-otoplenie>. – Дата доступа : 04.11.2019.
4. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций: ГОСТ 26629-85. – Введ. 01.07.86 . – М.: Издательство стандартов, 1986. – 12 с.

УДК 628.165

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТИПА МЕМБРАН ПРИ ОБЕССОЛИВАНИИ ВОДЫ ОБРАТНЫМ ОСМОСОМ

*В.Д. Ющенко, Е.В. Лесович, В.В. Жуковский*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: v.yushchanka@psu.by, e.lesovich@psu.by, v.v.zhukovskiy@students.psu.by

*В статье приводятся сведения по применению метода обратного осмоса для обессоливания воды. Предложена методика определения эффективности работы отдельных обратноосмотических мембран: Мембраниум» марка КС8040 С2, Hydranautics CPA3-8040 и Toray TM720-430. Путем сравнения основных технических характеристик представленных мембран, а также результатов, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований на модельной установке, установлено, что обратноосмотическая мембрана «Мембраниум КС8040-С2» при относительно равных технических характеристиках и относительно мембран других производителей имеет лучшую стойкость к отложениям загрязнению органическими веществами и отличается более низкой стоимостью.*

**Ключевые слова:** обратный осмос, обратноосмотические полупроницаемые мембраны, отложение, накипеобразование.

## FEATURES CHOICE OF TYPE OF MEMBRANES IN THE DESALINATION OF WATER BY REVERSE OSMOSIS

*V. Yushchanka, E. Lesovich, V. Zhukovsky*

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: v.yushchanka@psu.by, e.lesovich@psu.by, v.v.zhukovskiy@students.psu.by

*The article provides information on the use of reverse osmosis method for desalting water. The method of determining the efficiency of individual reverse osmosis membranes: "Membranium" brand KS8040 C2, Hydranautics CPA3-8040 and Toray TM720-430. By comparing the main technical characteristics of the presented membranes, and the results obtained during the experimental studies for model setup, established that membrane "Membranium KS8040-C2" in relatively equal technical characteristics and relatively membranes from other manufacturers has the best resistance to sediment contamination with organic substances and has lower cost.*

**Keywords:** reverse osmosis, reverse osmosis semipermeable membranes, fouling, scaling.

**Введение.** Полоцкий промышленный узел является одним из крупных производственных комплексов в Республике Беларусь, в состав которого входят градообразующие предприятия, такие как нефтеперерабатывающий завод «Нафтан», нефтехимический завод «Полимир», завод «Стекловолокно», а также Новополоцкая ТЭЦ.

Главным источником воды в промышленности служат природные пресные воды.

Системы промышленного водоснабжения предназначены обеспечивать подачу воды на производство требуемого и соответствующего качества. Они состоят из комплекса взаимосвязанных сооружений, водозаборных устройств, насосных станций, водоводов, установок очистки и улучшения подпиточной и оборотной воды, регулирующих и запасных емкостей, охладителей воды и разводящей сети трубопроводов.

Промышленная водоподготовка теплоэнергетического производства представляет собой комплекс мероприятий и технологических процессов получения воды требуемого качества. Основные методы водоподготовки: 1) обеззараживание воды — обязательный процесс очистки с целью уничтожения болезнетворных микроорганизмов и окисления органических примесей; 2) отстаивание — удаление из воды грубодисперсных взвешенных примесей, оседающих на дно непрерывно действующих отстойных бетонированных резервуаров; 3) фильтрование — важный метод очистки воды, для этого применяются фильтры с зернистым фильтрующим слоем; 4) умягчение и обессоливание — основные процессы водоподготовки; 5) дегазация воды — удаление из нее растворимых газов — проводится химическими и физическими способами [1].

Все данные предприятия используют воду, не только очищенную от взвешенных веществ и микроэлементов, но и в высокой степени обессоленную.

Чаще всего обессоленная вода применяется для получения насыщенного перегретого пара в котлах высокого давления при дальнейшем его направлении для технологических процессов ряда производств, а также в системах отопления и ГВС.

**Основная часть.** В настоящее время широкое распространение получили мембранные методы обессоливания воды. По сравнению с традиционными методами они имеют технологические и экономические преимущества, а также экологически безопасны.

Так, интерес к использованию обратного осмоса при подготовке обессоленной воды для паровых котлов вызван тем, что его внедрение позволяет значительно (на 90 %) сократить количество потребляемых реагентов (кислот, щелочей, хлорида натрия) и одновременно избавиться от проблем, связанных с утилизацией сточных вод с высоким содержанием химических веществ.

Помимо ионов солей, современные обратноосмотические мембраны задерживают силикаты и молекулы органических веществ, что делает обратный осмос чрезвычайно перспективным для энергетики. Кроме систем глубокого обессоливания воды, установки обратного осмоса успешно применяются для подготовки подпиточной воды паровых котлов [2].

Например, котел БЭМ 25/4 – 440 ГМ производства ОАО «Белэнергомаш» требует, кроме уменьшения жесткости, понижения общей минерализации питательной воды. В этих случаях обратноосмотические мембранные установки для деминерализации, пожалуй, единственная подходящая технология. Благодаря невысокой стоимости, компактности, простоте обслуживания, полной автоматизации обратноосмотические системы оказываются оптимальным вариантом для подготовки воды автономных котельных и районных тепловых станций (РТС). Повышаются технические показатели, что вызывает рост требований к качеству подпиточной воды [3]. Основные показатели качества исходной воды до обработки приведены в таблице 1.

**Методика проведения исследований.** В данной работе рассмотрен выбор типа мембран для блока обратного осмоса при подготовке воды для паровых установок ТЭЦ, в условиях получения пересыщенного пара большого давления.

Контрольным параметром принята удельная электропроводность пермеата, равная 1мкСм/см.

С целью установления эффективности работы отдельных обратноосмотических мембран проведены экспериментальные исследования на модельной установке, которая представляет собой три блока, состоящих из мембранных корпусов, соединенных между собой и смонтированных на одной раме.

Таблица 1. – Качество исходной воды перед предварительного осветления и обесцвечивания

№ п/п	Наименование показателей	Лето середин а/конец	Осень	Зима	Весеннее половодье
1	Температура, °С	23,8/15,1	5,6	6,0	7,1
2	Запах при 20°С и 60°С (балл)	0	0	0	0
3	Водородный показатель (ед. рН)	8,03/8,29	8,1	7,96	8,09
4	Взвешенные вещества (мг/дм <sup>3</sup> )	0,8/6,6	1,4	7,4	3,6
5	Мутность (мг/дм <sup>3</sup> )	3,7/10,2	3,7	3,9	3,2
6	Цветность (градус)	17,0/16,0	13	21	26
7	БПК <sub>5</sub> (мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> )	3,95/3,91	2,82	2,17	3,34
8	ХПК (мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> )	17,4/22,33	24,36	22,48	28,1
9	Жесткость общая (мг-экв/дм <sup>3</sup> )	4,34/4,39	4,47	4,61	4,02
10	Жесткость карбонатная (мг-экв/дм <sup>3</sup> )	3,62/3,69	3,84	3,87	3,4
11	Сухой остаток (мг/дм <sup>3</sup> )	257/279	244	277	269
12	Аммоний (мг/дм <sup>3</sup> )	0,1/0,04	0,07	0,3	0,2

Через испытательную установку блока обратного осмоса, состоящего из трех мембранных корпусов, загруженных мембранами разных производителей, пропускаем предварительно очищенную воду с расходом 21 м<sup>3</sup>/ч (7 м<sup>3</sup>/ч на каждый мембранный корпус).

В первый блок были загружены обратноосмотические мембраны фирмы «Мембраниум» марка КС8040 С2. Это единственная российская компания среди мировых производителей мембранной продукции, изготавливающая наноструктурированное мембранное полотно и рулонные мембранные элементы для обратного осмоса.

В мембранный корпус среднего блока установлены обратноосмотические спирально-навитые мембраны марки СРАЗ-8040 фирмы «Hydranautics» (США, Япония), которая производит широкую линейку мембранных продуктов и услуг в данной отрасли.

В третий мембранный корпус были загружены обратноосмотические мембраны марки ТМ720-430 фирмы «Тогау». Данная японская компания также производит ультра-

фильтрационные мембраны, модули мембранных биореакторов (МБР) погружного типа, а также реагенты для обратноосмотических систем.

Основные технические характеристики, а также стоимость данных мембран, указанные в каталогах производителя, представлены в таблице 2 [4].

Таблица 2. – Технические характеристики мембран

Основные технические характеристики	Производитель/марка		
	Мембраниум / КС8040 С2	Hydranautics / СРА3-8040	Toray / ТМ720-430
Максимальное рабочее давление	4,1 МПа	4,1 МПа	4,1 МПа
Максимальный перепад давления	0,3 МПа	0,3 МПа	0,3 МПа
Рабочая температура	4-45 °С	4-45 °С	4-45 °С
рН при химической промывке (очистка)	2-11(1-12)	2-10,8 (1-12)	2-10 (1-11,5)
Максимальный расход	17 м <sup>3</sup> /ч	17 м <sup>3</sup> /ч	17 м <sup>3</sup> /ч
Селективность	99,70 / 99,40	99,70 / 99,60	99,70
Площадь активной зоны	37 м <sup>2</sup>	37 м <sup>2</sup>	40 м <sup>2</sup>
Цена	1433BYN(700\$)	1617BYN(790\$)	2151BYN(1011\$)

Контроль технологических параметров при испытаниях установки осуществляется на базе приборов, установленных на блоке.

Таблица 3. – Средства измерения и приборы контроля

Наименование и краткая техническая характеристика	Количество, шт.	Назначение
Аналитический прибор АЖК-3122.1.П.2 Диапазон измерения 0...1000 мкСм/см; выходной сигнал 4...20мА; Изготовитель ЗАО «НПП Автоматика»	1	Измерение удельной электропроводимости пермеата, мкСм/см
Расходомер электромагнитный «Взлет ТЭР» Ду = 80 мм, выходной сигнал 4...20мА; Изготовитель: «Взлет»	1	Измерение расхода исходной воды, м <sup>3</sup> /ч

При работе установки внутри мембранного модуля происходит накопление слизи, как на поверхности обратноосмотического элемента и его держателя, так и внутри самой обратноосмотической мембраны.

Слизь представляет собой биопленку органического характера, т.е. колонии микроорганизмов, закрепившиеся и развившиеся на поверхности мембранного модуля. Общей практикой признается то, что чем меньше микроорганизмов в воде, тем менее вероятно ее биообрастание. Как правило для мониторинга количества микроорганизмов широко используется определение общего микробного числа (ОМЧ) в исходной воде перед обратным осмосом. Поэтому необходимо производить контроль количества микроорганизмов в воде по показателю ОМЧ, с целью выявления значения данного показателя при снижении производительности блока на 15-20% или увеличение электропроводности фильтрата более чем на 15-20% [5].

Для этого каждые пятье сутки производим отбор проб анализа через пробоотборные точки и проводим анализ по следующей технологии:

- берем не менее 500 мл воды с соблюдением асептики (обжигаем краны, используем стерильную посуду);
- делаем посев 10-кратных разведений воды (1:10, 1:100 и т. д) в чашки Петри по 1 мл глубинным методом Коха на МПА (для бактерий), и на сусло-агар (для грибов);
- инкубируем при 37°C – 24 часа для бактерий и при 24°C – 2-3 суток для грибов;
- считаем число колоний (1 колония – 1 клетка);
- число колоний (1 колония – 1 клетка) умножают на степень разведения и получают микробное число воды (т.к. объем посева – 1мл, а ОМЧ воды – число микроорганизмов в 1 мл воды).

С помощью приборов (табл. 3) каждый час производится сверка параметров и при их отклонении более чем на 15% производится прямая промывка частично обессоленной водой с расходом 15-17 м<sup>3</sup>/ч в течение 5-10 минут с добавлением щелочного моющего раствора для удаления органических и биологических материалов, а затем кислотным - для растворения минеральных отложений.

Экспериментальные исследования работы мембран.

Загрязнение мембран обратного осмоса органическими веществами приводит к снижению пропускной способности и скорости процесса фильтрации.

В ходе испытаний установлена продолжительность работы мембран (каждые 16 часов), за которую производительность падает более чем на 15%, в результате чего необходимо производить промывку блока частично обессоленной водой (рисунок 1).

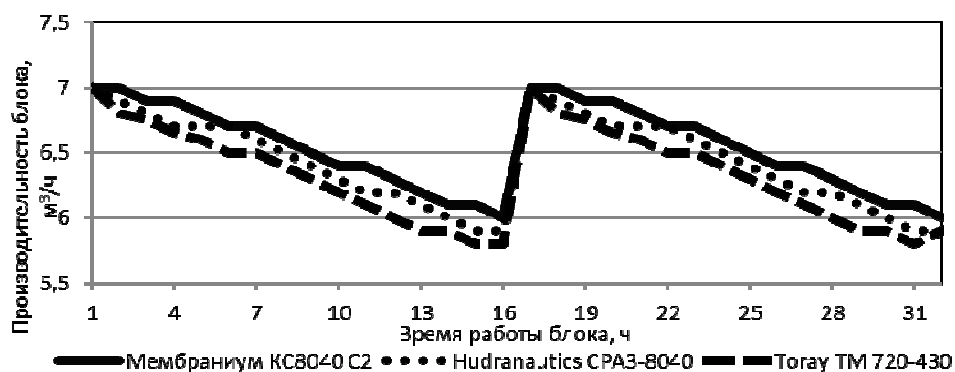


Рисунок 1. – График зависимости производительности мембран от времени работы блока

В ходе испытаний также установлено время вывода мембран на химическую (по ОМЧ) промывку и построены графики зависимости ОМЧ от времени работы блока (рисунок 2). В первую очередь выполняется химическая промывка со щелочным моющим раствором (0,5% Акварезалт ПМ-20) для удаления органики и биологических материалов, а затем кислотным моющим раствором (8% Акварезалт ПМ-25) для растворения отложений. При этом между промывками необходимо включить блок в работу на несколько часов, чтобы при рабочем давлении гарантировано обеспечить удаление остатков отработавшего щелочного моющего раствора из застойных зон.

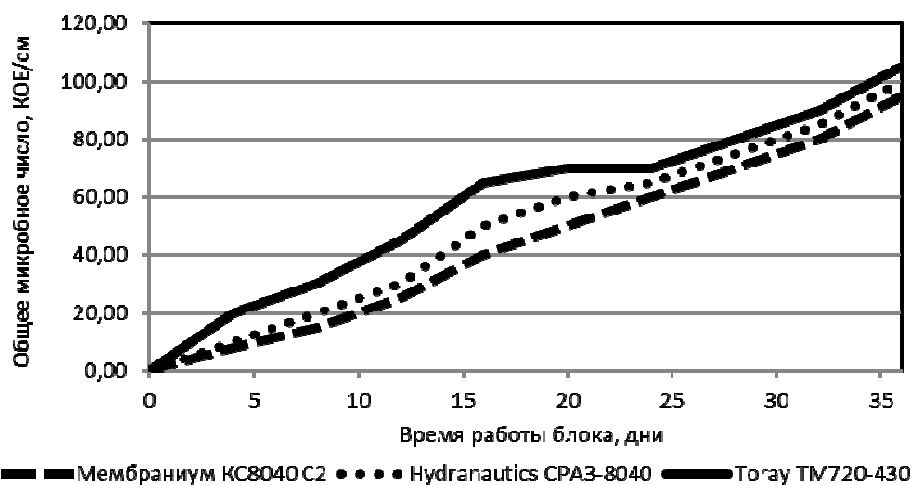


Рисунок 2. – График зависимости загрязненности мембран обратного осмоса органическими веществами от времени эксплуатации

Для наглядности приведена гистограмма снижения производительности обратноосмотических мембран в % от нормативной величины (рисунок 3).

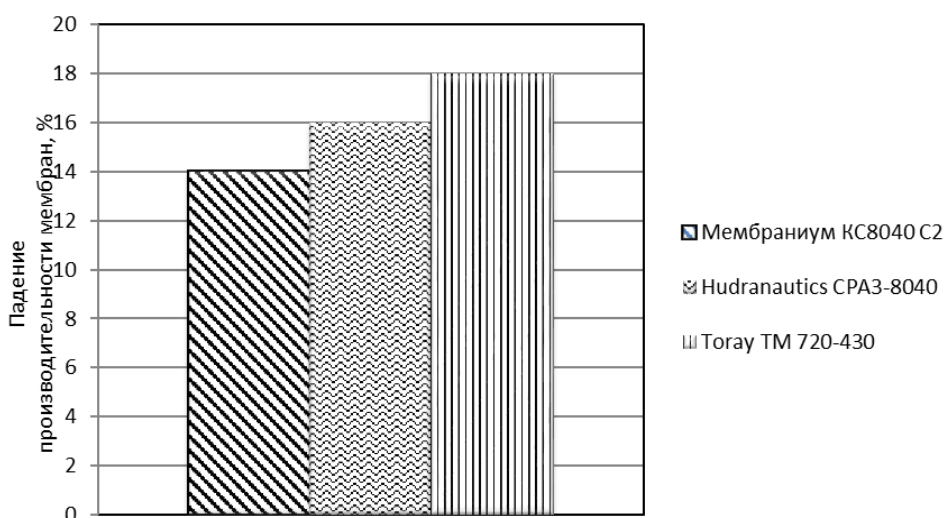


Рисунок 3. – Гистограмма потери производительности обратноосмотических мембран за период наблюдения (36 суток)

**Заключение.** В ходе испытаний получены следующие данные:

1. Для всех типов мембран установлено, что значительных отложений и биообрастания в условиях обработки воды специальными реагентами не происходит. Оптимальное время эксплуатации до проведения прямой промывки частично обессоленной водой составляет 16 часов.



2. За цикл фильтрации производительность мембраны марки Мембраниум КС8040 С2 уменьшается на 14 %, марки HydraNautics CPA3-8040 - на 16 % и марки TorayTM720-430 – на 18%.

3. За срок наблюдения (36 суток) загрязненность органическими веществами ОМЧ составляет, соответственно, 96, 100 и 105 КОЕ/см.

4. Таким образом, путем сравнения основных технических характеристик представленных мембран, а также результатов, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований на модельной установке, установлено, что обратноосмотические мембраны «Мембраниум КС8040-С2» при сравнительно равных технических характеристиках относительно мембран других производителей имеет лучшую стойкость к отложениям, загрязнению органическими веществами и отличается более низкой стоимостью. А также в связи с тем, что данная мембрана обладает более высокой стойкостью к отложениям и органическим веществам, расходуется меньшее количество регенерационных растворов и уменьшаются затраты на утилизацию сточных вод с высоким содержанием химических веществ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Реут, О.П, Хаютина, Е.С, Куличенков В.П. Водоподготовка для предприятий энергетики: учебно-методическое пособие для слушателей курсов повышения квалификации энергетиков и студентов энергетического факультета БНТУ / О.П. Реут, Е.С. Хаютина, В.П. Куличенков; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Метрология и энергетика" . – Минск: БНТУ, 2015. 12–94 с.
2. Чиж, В.А., Карницкий, Н.Б., Денисов, С.М., Нерезько, А.В. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС : учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальностей 1-43 01 04" Тепловые электрические станции" и 1-43 01 08 "Паротурбинные установки атомных электрических станций" / В.А. Чиж, Н.Б. Карницкий, С.М. Денисов и А.В. Нерезько ; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции". – Минск : БНТУ, 2015. – 105 с.
3. Информационный портал «Энерготехника» Статья «Техническое описание паровых котлов серии БЭМ ООО Белэнергомаш-БЗЭМ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://entechnika.ru/wp-content/uploads/2019/02>. – Дата доступа: 29.10.2019.
4. Каталог мембранных элементов марки HydraNautics [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://membranes.com/wp-content/uploads/2017/03/CPA3.pdf>. Дата доступа – 29.10.2019.
5. Шагарова, А.А., Горбаченко, В.И. Анализ выбора полупроницаемых мембран в зависимости от технологических параметров процесса ультрафильтрации / А.А. Шагарова, В.И. Горбаченко // Энерго– и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2017. – №4 (21) – С. 69– 72.

УДК: 658.26:536.7:666.97.035

ВЫБОР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ УСКОРЕННОЙ ГИДРАТАЦИИ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

**А.М. Нияковский**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь  
e-mail: a.m.niyakovski@pdu.by

*С использованием разработанных теплофизической модели и математического аппарата выполнено сравнение двух режимов тепловой обработки для промышленно изготавливаемого многослойного бетонного изделия: с изотермической выдержкой и в отсутствие изотермической выдержки. Для каждого из этих режимов получены зависимости потребления тепловой энергии, а также рассчитаны температурные поля и поля степени гидратации в объёме изделия. Показано, что разработанный численный метод позволяет решать задачи по выбору энергосберегающих режимов тепловой обработки композитных бетонных изделий, имеющих сложную 3D-геометрию.*

**Ключевые слова:** *теплотехнологические установки, тепловая обработка бетона, нестационарное уравнение теплопроводности, энергосберегающие режимы, энергоэффективность*

SELECTION OF ENERGY-EFFICIENT MODES OF OPERATION OF HEAT-TECHNOLOGICAL  
FACILITIES FOR ACCELERATED HYDRATION OF CONCRETE PRODUCTS

**A. Niyakovski**

Polotsk State University, Republic of Belarus  
e-mail: a.m.niyakovski@pdu.by

*Using the developed thermophysical model and mathematical apparatus for composite concrete products manufactured in industrial conditions, the comparison of two modes of heat treatment: with isothermal exposure and in the absence thereof is performed. For each of these modes, dependences of thermal energy consumption, and also distributions of temperature and degree of hydration in a volume of a product are received. It is shown that the developed numerical method allows to solve the problem of choosing energy-saving modes of heat treatment of composite concrete products with complex 3D-geometry.*

**Keywords:** *thermal technical installations, heat treatment of concrete, transient heat conductivity equation, composite materials, energy-saving modes, energy efficiency.*

**Введение.** Современная номенклатура промышленно изготавливаемых бетонных изделий для целей промышленного и гражданского строительства отличается сложной

композитной структурой и разнообразием форм-факторов. На смену структурно простым конструкциям приходят многослойные, в которых используются разнообразные теплоизоляционные и защитные материалы, применяются сложное армирование и различные марки бетонов одновременно. Типизация изделий уступает место оригинальным конструкциям, отвечающим возросшим требованиям архитекторов, дизайнеров и потребителей. В связи с этим особую актуальность при производстве подобной продукции приобретают вопросы проектирования режимов тепловой обработки в промышленных теплотехнологических установках ускоренной гидратации, обеспечивающих снижение удельного энергопотребления и высокое качество изготовления.

Одна из главных проблем состоит в том, что усложнение композитной структуры бетонных изделий и их формы не позволяет осуществить ранжирование режимов тепловой обработки по критерию энергоэффективности путём традиционного анализа «кубиковой» прочности тестовых образцов. Отыскание же оптимальных режимов тепловой обработки за счёт проведения натуральных экспериментов с образцами реальных размеров является высокочувствительным и требует много времени. При этом подобные эксперименты не позволяют установить характер распределения температур и степени гидратации в пределах внутреннего пространства изделия в период его тепловой обработки. Они также не могут дать представление о величинах потребляемой при этом тепловой энергии и мощности её подвода к изделию, как в отдельные периоды времени обработки, так и в целом за всю её продолжительность. Всё это создаёт сложности при разработке режимов функционирования теплотехнологического оборудования для ускоренной гидратации бетонных изделий и алгоритмов автоматизации процессов тепловой обработки, особенно, в условиях выполнения их дискретной оптимизации по критерию энергопотребления.

Вопросам проектирования энергосберегающих режимов тепловлажностной обработки бетонных изделий в последнее десятилетие уделено значительное число исследований (Л. И. Дворкин, Э. И. Батяновский, В. В. Бабицкий, М. С. Бибик и др.) [1–4]. Однако, эти исследователи подходили к рассмотрению данной проблемы с позиций строительного материаловедения и науки о бетоне, оставляя в стороне теплотехнические аспекты.

С позиций промышленной теплоэнергетики и теоретической теплотехники данная проблема рассмотрена, в частности, в работах С. В. Федосова с соавторами [5], К. В. Аксенчика с соавторами [6] а также в ряде исследований, выполненных европейскими и американскими специалистами [7–8]. Тем не менее, предложенные указанными авторами методы не могут быть использованы в отношении изделий со сложной геометрией и неоднородной композитной структурой. Причина в том, что они в той или иной степени оперируют интегральными тепловыми характеристиками процесса тепловой обработки, игнорируют сложный состав изделий, ограничиваются строго заданными граничными условиями при анализе теплообмена, присущими неактуальным теплотехнологическим агрегатам и методам для осуществления тепловой обработки бетонных изделий.

**Теплофизическая и математическая модели.** Для преодоления этих трудностей нами предложены теплофизическая и математическая модели процессов нагрева и гид-

ратации, основанные на нестационарном уравнении теплопроводности в 3D-постановке с учётом распределённого источника внутренних тепловыделений, а также сформулированы граничные условия теплообмена, свойственные современным промышленным установкам для ускоренной гидратации бетонных изделий. В зависимости от решаемой задачи, рассмотрены граничные условия, характеризующие перенос теплоты на границах следующих систем: «бетон – паровоздушная среда»; «опалубка – паровоздушная среда»; «бетон – пенополистирол»; «опалубка – пенополистирол»; «опалубка – бетон»; «нагреватель – столешница». При численном решении уравнения теплопроводности использовались функциональные зависимости «температура – время тепловой обработки», как модельные, так и полученные экспериментально при проведении исследований в условиях действующего производства.

Для оценки тепловыделений цемента при различных температурах к моменту времени  $\tau$ , прошедшему с момента начала реакции гидратации, использовалась функция  $Q(T, \tau)$ , полученная методом аппроксимации экспериментальных данных, опубликованных в [8, 9].

Верификация разработанной модели осуществлена в производственных условиях ОАО «Строительно-монтажный Трест №16, г. Новополоцк» и показала удовлетворительную сходимость полученных расчётных и экспериментальных значений температур и степени гидратации в различных точках внутреннего пространства объёма бетонных изделий при их тепловой обработке [10].

Основные сведения о параметрах и составе разработанных теплофизической и математической моделей опубликованы в научных изданиях [11–14].

**Выполнение исследования и полученные результаты.** В качестве исследуемого объекта рассмотрена наружная трёхслойная стеновая панель серии 90, выпускаемая филиалом Завод КПД ОАО «Трест № 16, г. Новополоцк», 3D-геометрия которой построена в среде SolidWorks и импортирована для построения клеточной 3D-модели. Тепловая обработка изделия проводилась на обогреваемом стенде горизонтального формования с укрытием поверх брезентом.

На рисунке 1 представлено распределение входящих в наружную стеновую панель и использованных при проведении расчётов областей  $\Omega_1$ –  $\Omega_6$ , ассоциированных с различными материалами и элементами конструкции, составляющими бетонное изделие и теплотехнологическую установку для его обработки.

Как видно из рисунков, объект имеет сложную 3D-конфигурацию. В него входят пространственные области бетона, пенополистирола и минеральной ваты. Области пространства, заполненные разными материалами, были учтены в модели через систему граничных условий [10, 12].

Начальные условия модели:

$$\begin{cases} T(x, y, z, 0) = 25^\circ \text{C} , \text{ для } (x, y, z) \in \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Omega_5 \cup \Omega_6 \\ T(x, y, z, 0) = 24^\circ \text{C} , \text{ для } (x, y, z) \in \Omega_3 \\ T(x, y, z, 0) = T_0 = 36^\circ \text{C} , \text{ для } (x, y, z) \in \Omega_4 \\ Q(x, y, z, 0) = 0 \text{ Дж / кг} , \text{ для } (x, y, z) \in \Omega_1 \end{cases} \quad (1)$$

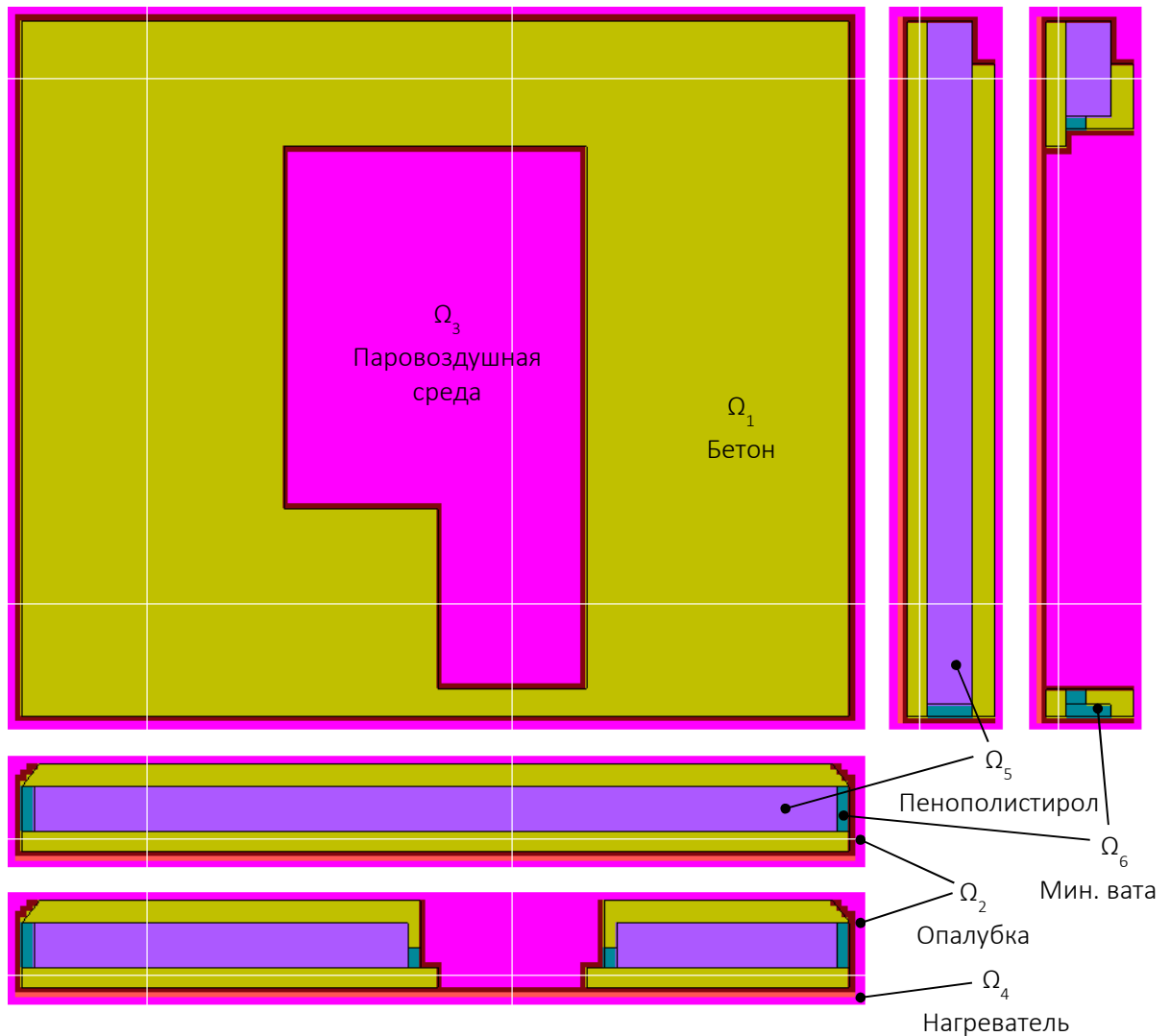


Рисунок 1. – Области моделируемого пространства для тепловой обработки трёхслойной наружной стеновой панели

С целью моделирования тепловой обработки граничные условия были приведены к условиям задачи. Так, температура  $T_{env}$  области паровоздушной среды ( $\Omega_3$ ) менялась по следующему закону:

$$T_{env}(\tau + \Delta\tau) = T_{env}(\tau) + \frac{P_{env}(\tau) - P_{cov}(\tau)}{\rho_{air} V_{env} c_{air}} \Delta\tau, \quad (2)$$

где  $c_{air}$  – удельная теплоёмкость воздуха (1006 Дж/(кг·°C));

$\rho_{air}$  – плотность воздуха (1,2 кг/м<sup>3</sup>);

$V_{env}$  – объем области  $\Omega_3$ ;

$P_{cov}$  – мощность теплоотдачи паровоздушной среды на поверхность укрывающего брезента;

$P_{env}$  – мощность теплоотдачи опалубки и открытой поверхности бетона в паровоздушную среду.

Мощность теплоотдачи паровоздушной среды на поверхность укрывающего брезента определялась на основании уравнения:

$$P_{cov}(\tau) = \alpha_{cov} (x_{max} - x_{min})(z_{max} - z_{min})(T_{env}(\tau) - T_{cov}), \quad (3)$$

где  $\alpha_{cov}$  – коэффициент теплоотдачи паровоздушной среды к поверхности укрытия ( $\alpha_{cov}=10$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$T_{cov}$  – температура брезента или окружающей среды (20°C);

$x_{min}, x_{max}, z_{min}, z_{max}$  – минимальная и максимальная соответствующие координаты моделируемого пространства (для вычисления площади укрываемой поверхности).

Отключение нагревания (управляемого поддержания температуры) и переход оборудования в режим, когда тепловая обработка изделия осуществляется целиком за счёт теплоты гидратации, было смоделировано путём присвоения элементам области нагревателя ( $\Omega_4$ ) идентификатора области опалубки ( $\Omega_2$ ) при сохранении температуры. То есть в момент времени  $\tau_{iso}$ , соответствующий прекращению поддержания постоянства температуры выдержки изделия, область  $\Omega_4$  превращалась в часть области  $\Omega_2$ .

Температура во всем пространстве нагревателя ( $\Omega_4$ ) изменялась в соответствии с режимом термообработки:

$$\frac{\partial T_w(\tau)}{\partial \tau} = \begin{cases} (T_{max} - T_0) / \tau_{inc}, & \text{при } 0 \leq \tau < \tau_{inc} \\ 0, & \text{при } \tau_{inc} \leq \tau < \tau_{iso} \end{cases}, \quad (4)$$

где  $T_0 = 36$  °С – начальная температура теплоносителя;

$T_{max}$  – максимальная температура теплоносителя (температура изотермической выдержки);

$\tau_{inc}$  – момент времени прекращения нагрева (роста температуры);

$\tau_{iso}$  – момент окончания изотермической выдержки.

Мощность теплоотдачи опалубки ( $\Omega_2$ ) и открытой поверхности бетона ( $\Omega_1$ ) в паровоздушную среду ( $\Omega_3$ ) вычислялась следующим образом:

$$\begin{aligned} P_{env}(\tau) = & \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_1 \\ (x,y+\Delta y,z) \in \Omega_3}} \alpha_{up} \Delta x \Delta z (T(x,y+\Delta y,z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) + \\ & + \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_2 \\ (x+\Delta x,y,z) \in \Omega_3}} \alpha_{sd} \Delta y \Delta z (T(x+\Delta x,y,z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) + \\ & + \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_2 \\ (x-\Delta x,y,z) \in \Omega_3}} \alpha_{sd} \Delta y \Delta z (T(x-\Delta x,y,z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) +, \\ & + \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_1 \\ (x,y,z+\Delta z) \in \Omega_2}} \alpha_{sd} \Delta x \Delta y (T(x,y,z+\Delta z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) + \\ & + \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_1 \\ (x,y,z-\Delta z) \in \Omega_2}} \alpha_{sd} \Delta x \Delta y (T(x,y,z-\Delta z,\tau) - T(x,y,z,\tau)) \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\alpha_{up}$  – коэффициент теплоотдачи, соответствующий конвективному теплообмену в воздушной среде для горизонтальной поверхности;

$\alpha_{sd}$  – коэффициент теплоотдачи в воздушной среде для горизонтальной поверхности.

Параметры моделирования выбранного объекта характеризовались следующими значениями: размеры сеточной модели составили  $164 \times 22 \times 139 = 501512$  элементов; шаг по пространству – 0,02 м; шаг по времени – 0,05 с; общее время моделирования одного варианта тепловой обработки составляло не менее 22 часов.

С использованием полученной модели было выполнено сравнительное моделирование двух режимов тепловой обработки рассматриваемого изделия: с изотермической выдержкой при управляемом подводе теплоты и постоянной температуре и энергосберегающего, когда подвод теплоты извне осуществляется только в период предварительного нагрева. При этом для целей тепловой обработки изделия максимально используется теплота гидратации.

Режим с изотермической выдержкой характеризовался следующими параметрами:  $T_{max} = 53$  °С (температура нагрева и выдержки),  $\tau = \tau_{inc} = 3$  часа (момент времени завершения предварительного нагрева),  $\tau = \tau_{iso} = 10$  часов (момент времени завершения изотермической выдержки). Указанные моменты времени отсчитывались от принятого за ноль момента начала тепловой обработки.

На рис. 2 в качестве иллюстрации представлены результаты моделирования распределения температур и коэффициента (степени) гидратации в выделенных сечениях для изотермического режима по истечении 6 часов от начала тепловой обработки. Энергосберегающий режим имел следующие параметры работы нагревателей: температура предварительного нагрева  $T_{max} = 53$  °С,  $\tau_{inc} = 3$  часа, а продолжительность изотермической выдержки принята равной нулю.

Для оценки энергоэффективности исследованных выше режимов тепловой обработки бетонных изделий в устройствах ускоренной гидратации была использована введённая нами энергетическая характеристика, отражающая совокупные затраты тепловой энергии на осуществление различных стадий технологического процесса, с учётом энергозатрат, связанных с компенсацией тепловых потерь в окружающую среду в процессе тепловой обработки.

Эта характеристика представляет собой интегральные затраты на тепловую обработку изделия (подведённую нагревателем извне теплоту) и вычисляется по формуле:

$$Q_{src}(t_N) = \sum_{\tau=0..t_N} \sum_{\substack{(x,y,z) \in \Omega_1 \\ (x,y+\Delta y,z) \in \Omega_2}} \alpha_w \Delta x \Delta z \Delta \tau (T(x,y,z,\tau) - T(x,y+\Delta y,z,\tau)), \quad (6)$$

где  $\alpha_w$  – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к греющей поверхности устройства ускоренной гидратации.

На основе представленной выше теплофизической модели с учётом граничных условий для различных режимов тепловой обработки рассматриваемого изделия

в соответствии с уравнением (6) были выполнены расчёты подведённой извне тепловой энергии нагревателя ( $Q_{src}$ ) и его мощности ( $P_{src} = \partial Q_{src} / \partial \tau$ ) в зависимости от времени тепловой обработки. На рисунках 3 и 4 показано изменение этих величин в зависимости от времени тепловой обработки.

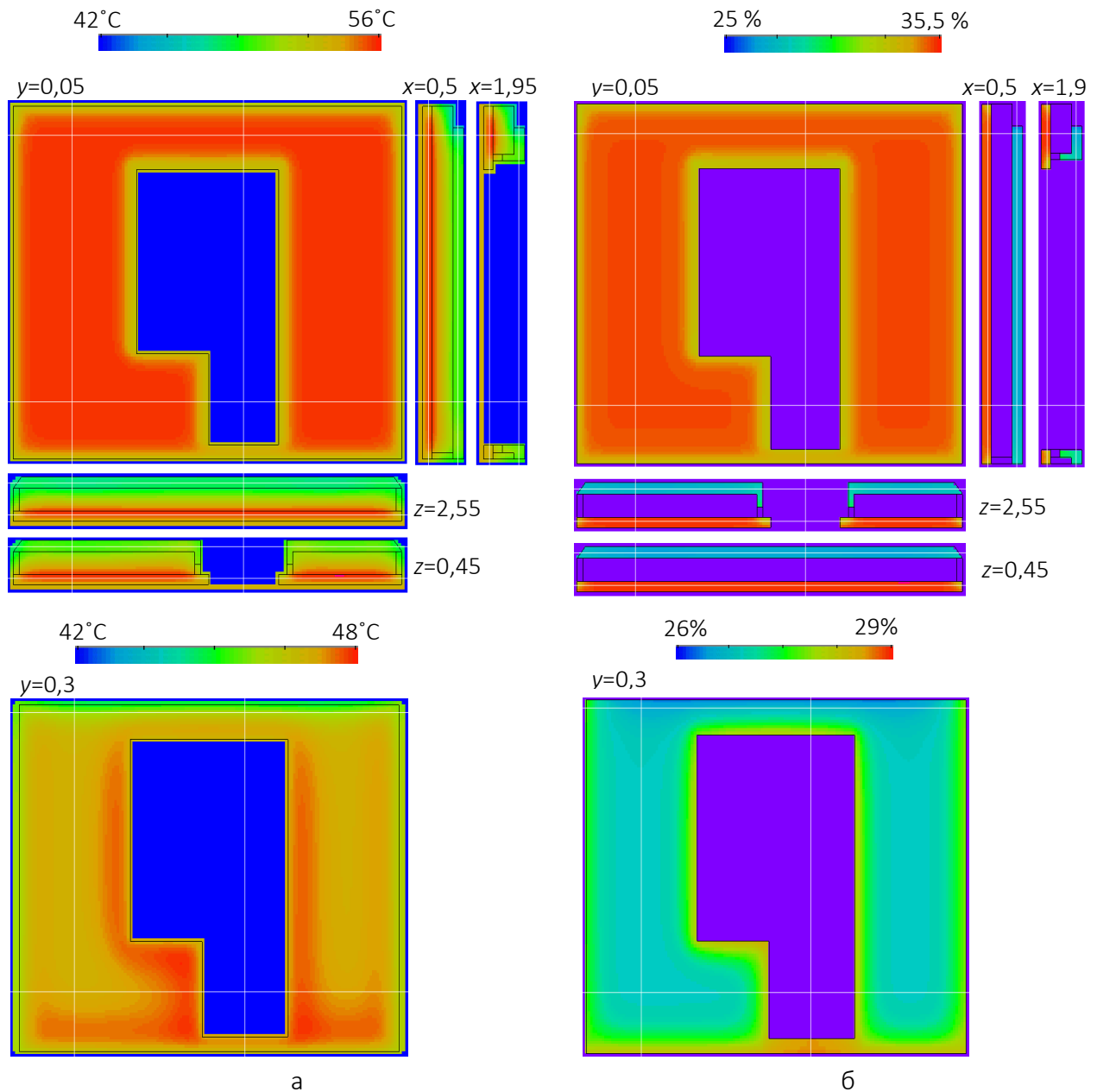


Рисунок 2. – Распределение температуры (а), степени (коэффициента) гидратации (б) в выделенных сечениях изделия при изотермическом режиме тепловой обработки по истечении 6 часов



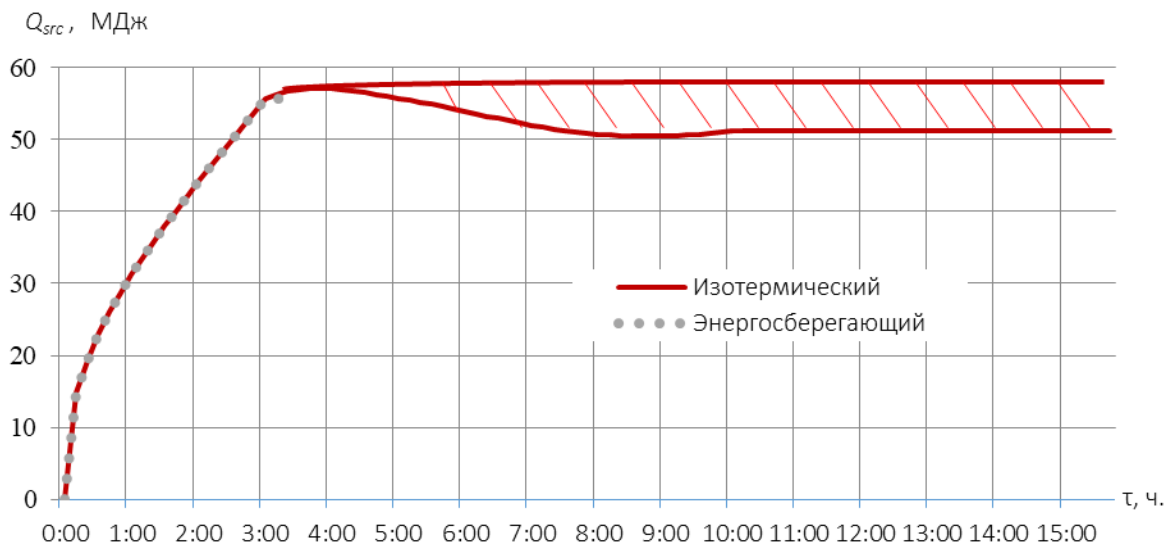


Рисунок 3. – Сравнение суммарных энергозатрат на тепловую обработку изделия при изотермическом и энергосберегающем режимах тепловой обработки

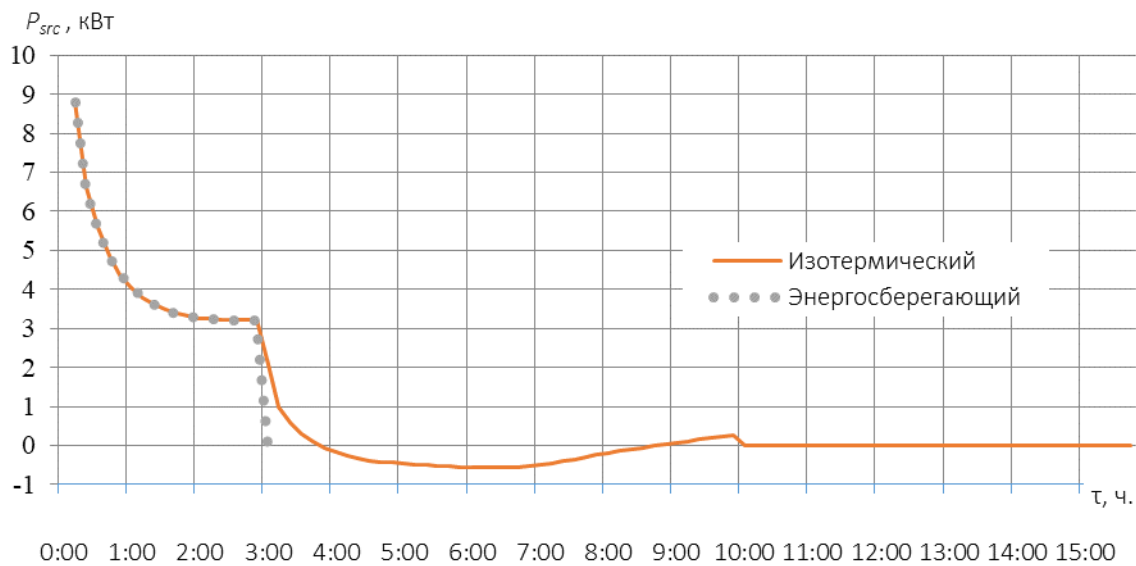


Рисунок 4. – Сравнение мощности нагревателя при изотермическом и энергосберегающем режимах тепловой обработки изделия

Как следует из анализа представленных графиков, рассмотренный энергосберегающий режим тепловой обработки при обеспечении одинаковой степени гидратации позволяет получить экономию тепловой энергии в объеме около 1,4 МДж в расчёте на одно изделие.

#### Заключение.

1. На основании разработанных теплофизической и математической моделей предложена энергетическая характеристика, позволяющая производить оценку технологически необходимых затрат тепловой энергии в установке ускоренной гидратации

в процессе тепловой обработки композитного бетонного изделия со сложной 3D-геометрией.

2. На примере промышленно выпускаемого бетонного изделия «трёхслойная стеновая панель» выполнены сравнительные расчёты для двух вариантов режимов тепловой обработки, показывающие, что на основе разработанного метода можно осуществлять выбор энергосберегающих режимов, обеспечивающих экономию энергетических ресурсов. При этом достигается снижение теплового потребления на величину около 1,4 МДж в расчёте на одно изделие с сохранением и контролем заданной степени гидратации в любой точке внутреннего пространства обрабатываемого изделия.

3. Разработанный метод может использоваться при оптимизации параметров и режимов работы промышленного теплотехнологического оборудования, предназначенного для проведения ускоренной гидратации композитных бетонных изделий сложной геометрической формы, по критерию энергоэффективности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дворкин, Л.И. Критерий рационального использования тепловой энергии в производстве бетона и железобетонных изделий / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин // Технология бетонов. – 2014. – № 2. – С. 32–35.
2. Батяновский, Э. И. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона / Э. И. Батяновский, Е.И Иванова., Р. Ф. Осос // Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». – Мн.: 2006. – № 3(6). – С. 7–17.
3. Бирик, М. С. Об энергосберегающих режимах тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий / М. С. Бирик, В. В. Бабицкий // Строительная наука и техника. – 2010. – № 4. – С. 55–59.
4. Бирик, М.С. Расчет энергосберегающих режимов тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий / М.С. Бирик, В.В. Бабицкий // Керамика: наука и жизнь. – 2009. – № 3. – С. 17–26.
5. Федосов, С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии: монография / С.В. Федосов. – Иваново: ПресСто, 2010. – 363 с.
6. Аксенчик, К.В. Исследование тепло- и массообмена в бетонных плитах, подвергаемых тепловой обработке / К.В. Аксенчик, Н.И. Шестаков // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 63–67.
7. Kuriakose, V., Rao, V.N., Dodagoudar, G.R. Modelling of heat of hydration for thick concrete constructions – a note / Bennet Kuriakose, V.N. Rao, G.R. Dodagoudar, V. Venkatachalapathy // Journal of Structural Engineering. – 2015. – Vol. 42, No. 4, October – November. – P. 348 – 357.
8. Ge, Zh. Predicting temperature and strength development of the field concrete: Retrospective Theses and Dissertations. [Electronic resource] / Zhi Ge // Iowa State University. – 2005. – Mode of access: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2729&context=rtd>. – Date of access: 14.12.2018.
9. Марьямов, Н.Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона (процессы и установки) / Н.Б. Марьямов. – М.: Стройиздат, 1970. – 272с.
10. Верификация нестационарной математической модели твердения бетона в теплотехнологических установках / А. М. Нияковский [и др.] // Наука и техника. – 2019. – Т. 18. – № 2. – С. 137–145.
11. Метод расчёта эволюции теплоэнергетических характеристик процесса ускоренной гидратации бетонных изделий / А.М. Нияковский [и др.] // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2019. – Т. 62. – № 4. – С. 307–324.

12. Нияковский, А.М. Численное моделирование эволюции энергетических характеристик процесса тепловой обработки композитного бетонного изделия / А.М. Нияковский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 3 (723). – С. 86–100.
13. Нияковский, А.М. Алгоритм и численная схема моделирования нестационарных процессов тепловой обработки бетонных изделий / А.М. Нияковский, Ю.В. Яцкевич, А.Н. Чичко // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. С, Фундаментальные науки. Информационные технологии. – 2019. – № 4. – С. 50–61.
14. Нестационарная модель процесса гидратации железобетонного изделия, находящегося в программно-нагреваемой среде / А. М. Нияковский [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 4. – С. 496–505.

УДК 697.9: 613.15:620.9

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ

*Т.И. Королева<sup>1</sup>; Д.А. Василевич<sup>1</sup>, И.В. Гапеев<sup>2</sup>*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь<sup>1</sup>

Новополоцкое монтажное управление филиал ОАО «Трест Белсантехмонтаж №1»,

Республика Беларусь<sup>2</sup>

e-mail: t.koroleva@psu.by, 14tv.vasilevich.d@pdu.by, nmubstm@mail.ru

*В целях оптимизации энергосбережения в зданиях учреждений образования дана оценка имеющегося потенциала энергосбережения и определены направления энергосберегающих мероприятий на примере проведенного энергетического обследования базовой школы в г. Новополоцке.*

**Ключевые слова:** энергетический менеджмент, энергетическое обследование, энергосбережение, тепловая энергия, модернизация зданий, утилизация теплоты.

## OPTIMIZATION OF ENERGY SAVING IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

*T. Koroleva<sup>1</sup>, D. Vasilevich<sup>1</sup>, I. Gapeev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Polotsk state University, Republic of Belarus,

<sup>2</sup>Montage department of Novopolotsk Subdivision OJSC "Trust Belsantehmontazh №1",

Republic of Belarus

e-mail: t.koroleva@psu.by, 14tv.vasilevich.d@pdu.by, nmubstm@mail.ru

*In order to optimize energy-saving in the buildings of educational institutions, an assessment is made of the existing potential for energy-saving and the directions of energy-saving measures are determined by the example of an energy survey of a basic school in Novopolotsk.*

**Keywords:** energy management, energy inspection, energy-saving, thermal energy, modernization of buildings, heat recovery.

**Введение.** Вопрос об энергоэффективности был и остается одним из приоритетных направлений в экономике Республики Беларусь. Актуальность энергосбережения и повышение энергетической эффективности зданий обусловлена высокими затратами и постоянным ростом тарифов на энергоресурсы. Высокий износ многих общественных зданий, недостаточная осведомленность работников бюджетной сферы о возможностях энергосбережения, отсутствие реальных стимулов у руководителей организаций к повышению энергетической эффективности – факторы, свидетельствующие о реальных преградах внедрения программ энергосбережения.

**Основная часть.** Проблема неэффективного и нерационального использования ресурсов требует комплексного подхода к управлению энергосбережением. Энергетическое обследование (энергоаудит) позволяет оценить существующие энергетические

расходы, выявить наибольшие потери энергии, определить потенциал энергосбережения и на основе полученных данных составить программу энергосберегающих мероприятий. Энергосберегающие мероприятия разрабатываются, согласно требованиям Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении» [1].

Энергоаудит позволяет получить данные о существующем состоянии объекта для разработки комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности и оценки потенциала энергосбережения, а также дает возможность выявить причины энергопотерь и в конечном итоге снизить расходы на энергетические ресурсы.

Энергосбережение – именно та позиция, с которой сегодня необходимо рассматривать деятельность любого предприятия. Безусловно, важная роль здесь принадлежит нормированию и стандартизации, а также энергетическому обследованию, которое проводится в целях оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и обеспечения их экономии.

Для повышения эффективности энергосберегающих мероприятий большое значение имеет не только внедрение нового оборудования, передовых технологий, но и грамотно организованное управление энергопотреблением, то есть энергоменеджмент и энергоаудит на предприятиях, в организациях и зданиях.

Энергетический менеджмент представляет собой совокупность технических и организационных мероприятий, направленных на повышение эффективности использования энергоресурсов и являющийся частью общей структуры управления предприятием. Основная задача его состоит в проведении комплексного анализа энергопотребления и на его основе – проведение энергосберегающих мероприятий на предприятии.

Энергетический аудит – это обследование предприятия, организации или здания с целью сбора информации об источниках энергии, ее удельном потреблении на единицу выпускаемой продукции (или на 1 м<sup>3</sup> объема обслуживаемого здания), разработка рекомендаций и технических решений по снижению энергетических затрат.

По результатам энергоаудита руководство предприятия должно получить:

- оценку текущего энергопотребления с достоверными данными по объемам потребления всех ресурсов и суммам средств, затрачиваемым на них, по предприятию или организации в целом, по отдельным участкам, и их удельные величины на каждый вид продукции.

- программу мероприятий по энергосбережению, содержащую систему мер организационного, правового и технического характера, направленных на постоянное и планомерное снижение издержек, при улучшении производственных, экономических и экологических показателей предприятия и условий труда персонала.

В программу должны быть включены как энергосберегающие мероприятия, так и меры по созданию системы энергоменеджмента: внедрение системы контроля и поощрения достижений, повышение мотивации и обучение персонала, порядок пересмотра и корректировки программы. Таким образом, энергетическое обследование может указать на перспективные направления деятельности, на основе которых необходимо организовать и проводить практическую работу по повышению энергетической эффективности предприятия.

Энергетический аудит может быть предварительным или подробным; простым или сложным; разовым, периодическим или перманентным (непрерывным).

Для оценки эффективности использования энергии проводится обследование по следующим семи направлениям:

1. Состояние технического учета:
  - способы учета (расчетный, приборный, опытно-расчетный);
  - оснащенность приборами расхода ТЭР (электросчетчики, теплосчетчики, расходомеры газа и жидкости);
  - формы получения, обработки и представления информации о контроле расхода энергии по цехам, участкам, энергоемким агрегатам;
  - соответствие схемы учета энергии структуре норм.
2. Состояние нормирования ТЭР:
  - наличие утвержденных в установленном порядке норм расхода энергоресурсов;
  - охват нормированием статей потребления энергоресурсов;
  - структура норм и ее соответствие технологии и организации производства;
  - динамика норм и удельных расходов за три предшествующие обследованию года.
3. Определение резервов экономии энергоресурсов на основании обследования энергопотребляющего оборудования, технологических процессов, состояния использования возобновляемых энергоресурсов.
4. Участие предприятия в регулировании графиков электрической нагрузки энергосистемы:
  - предусматриваемые мероприятия по использованию энергоемкого оборудования в качестве потребителей-регуляторов;
  - режим работы предприятия в условиях ограничения мощности энергосистемы в осенне-зимний период.
5. Перечень и краткое описание важнейших организационно-технических мероприятий по экономии топлива и энергии, намеченных на текущий год планами предприятия и рекомендуемых по результатам проведения целевого обследования.
6. Выявленные источники нерационального расходования энергии и топлива и оценки величины потерь.
7. Основные показатели, характеризующие состояние использования энергии на предприятии.

Потребление тепловой энергии для отопления зданий составляет значительную долю в балансе энергопотребления.

Согласно статистике в коммунальный сектор Республики Беларусь направляется более 56% произведенной тепловой энергии. С учетом использования тепловой энергии для горячего водоснабжения, а также для административных и производственных зданий, можно оценить долю тепловой энергии, направляемой на отопление близкой к 55-60%.

Данные свидетельствуют о значительном потенциале снижения энергопотребления за счет совершенствования конструкций зданий и систем поддержания микроклимата в них, поскольку наиболее высоким является именно потребление тепловой энергии.

Теплоизоляция и герметизация зданий являются эффективными направлениями в плане снижения потерь тепловой энергии при отоплении зданий.

Если рассмотреть физические основы процесса теплообмена здания с окружающей средой, то большая часть потерь тепла из зданий происходит за счет процесса теп-

лопередачи ( $Q_T$ ) и при инфильтрации ( $Q_I$ ), обусловленной воздухообменом внутренних помещений:

$$Q = Q_T + Q_I \quad (1)$$

при этом теплопередача через стену определяется по зависимости [2]:

$$Q_T = k \cdot \Delta t \cdot F = \frac{(t_g - t_n) \cdot F}{\left(\frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}\right)} \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$\Delta t$  – перепад температур, °C;

$F$  – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$\delta_i$  – толщина  $i$ -слоя материала стены, м;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -слоя материала стены, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$t_n$  – температура наружного воздуха, °C;

$t_g$  – температура воздуха внутри помещения, °C;

$n$  – количество слоев материала стены.

Из зависимости (2) вытекает, что величины теплопередачи и соответственно потеря тепла из зданий определяются толщиной ограждающих конструкций и их теплофизическими свойствами. Теплоизолирующий эффект различных конструкционных материалов зависит от их пористости. Поскольку воздух имеет меньший коэффициент теплопроводности, чем бетон и металл, то пористые материалы будут иметь меньшие значения теплопроводности чем однородные.

Если рассмотреть характер распределения теплотеря через ограждающие конструкции зданий, то в среднем оно выглядит следующим образом: стены - 42-49%; окна - 32-36%; подвальные и чердачные перекрытия - 11-18%; входная дверь - 5-15%.

Подобные тенденции можно проследить и в строительной практике нашей страны. В этом отношении наиболее проблемными зданиями являются здания 60-80х годов постройки прошлого века. В последующем нормы к теплотехническим параметрам строящихся зданий стали более жестким. Нормы проектирования в этой области регламентируются документом [3], который был введен в действие с 01.07.2007 года, а через два года произошло повышение уровня требований к теплотехническим параметрам ограждающих конструкций (в том числе зданий школ) в 1,25-1,70 раза в соответствии с изменениями к этому документу, что отражает текущую политику государства в строительстве с ориентацией на энергосбережение.

Окна играют важную роль в оформлении интерьеров помещений и фасадов зданий. Проблемные окна могут привести к бесполезной трате огромного тепловой энергии на отопление.

Наиболее распространенным способом модернизации окон является замена традиционных конструкций оконных проемов на герметичные. Установка герметичного ок-

на снижает потери за счет уменьшения притока холодного воздуха через окно и повышения сопротивления теплопереносу через площадь стеклопакета.

Применение герметичных оконных конструкций позволяет существенно снизить теплопотери за счет ликвидации поступления холодного воздуха извне помещения через неплотности в окнах и увеличения сопротивления теплопередаче через площади остекленных проемов. Однако применение герметичных оконных конструкций может привести к проблемам, связанным с недостаточной вентиляцией, повышенной влажностью в помещениях и появлением грибковых поражений [4].

Для поддержания нормативной влажности в помещениях водяной пар должен удаляться вместе с воздухом, выводимым из помещений с помощью систем вентиляции.

В традиционных конструкциях окон свежий воздух поступал в помещения через неплотности в оконных переплетах, а из зданий воздух отводился через вытяжную систему вентиляции. При монтаже герметичных оконных стеклопакетов воздухообмен нарушается, особенно если недостаточно часто проветривают помещения. При увеличении концентрации водяного пара в здании вода начинает конденсироваться на поверхностях с более низкими температурами и приводит к появлению грибковых поражений стен.

Для того чтобы избежать проблем с влажностью требуется увеличить кратность воздухообмена в помещении. Это достигается либо простейшими методами за счет более интенсивного проветривания путем открытия окон, либо модернизацией систем вентиляции с применением системы вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха в теплообменнике, что позволяет автоматизировать процесс поддержания нужных параметров внутреннего воздуха.

Система вентиляции с децентрализованным притоком и централизованным отводом воздуха приведена на рисунке 1.

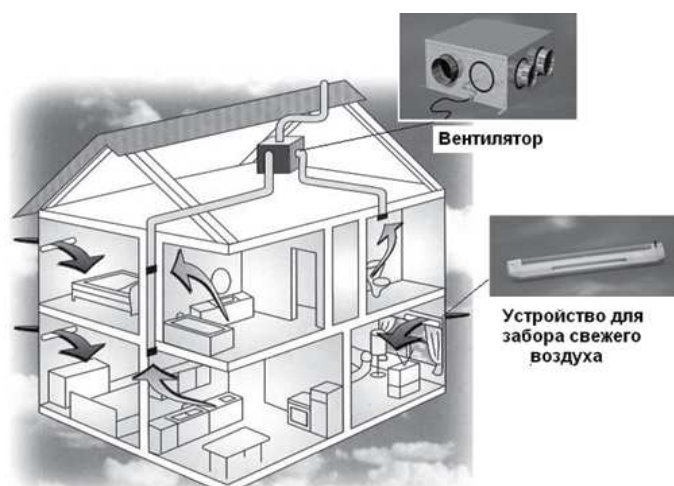


Рисунок 1. – Система вентиляции с децентрализованным притоком и централизованным отводом воздуха

В зданиях образовательных учреждений предлагается производить децентрализацию систем вентиляции помещений путем внедрения специальных местных приточно-вытяжных теплоутилизационных установок [5].



Модернизация систем отопления представляет такое исполнение схемы отопления, которое позволяет регулировать поступление теплоты к каждому отопительному прибору. Эти отопительные системы являются более гибкими и создают условия для энергосбережения. Такой способ регулирования предусматривает использование вместо механических вентилей термостатических регуляторов.

Значительный интерес вызывает и преобразование солнечной энергии в электрическую или тепловую для использования в зданиях. Это может быть реализовано двумя методами: термомеханическим и фотоэлектрическим.

Таким образом, дальнейшая стратегия энергосбережения должна разрабатываться по следующим главным направлениям:

- **сокращение расхода электрической энергии** за счёт внедрения электропотребляющего (в первую очередь – осветительного) оборудования имеющего более высокий класс энергоэффективности;

- **сокращение потребления тепловой энергии** в результате улучшения тепловой изоляции нагретых поверхностей оборудования и трубопроводов, повышения эффективности теплообмена в теплообменных устройствах, улучшения тепловой устойчивости зданий и сооружений;

- **внедрение установок утилизации** теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и солнечных коллекторов, для нагрева воды в плавательном бассейне;

- **снижение объёмов потребления ТЭР** за счёт совершенствования методов управления энергопотреблением.

Общая количественная оценка имеющегося максимального потенциала энергосбережения в зданиях школ, исходя из существующих современных технологий представлена на рисунке 2.

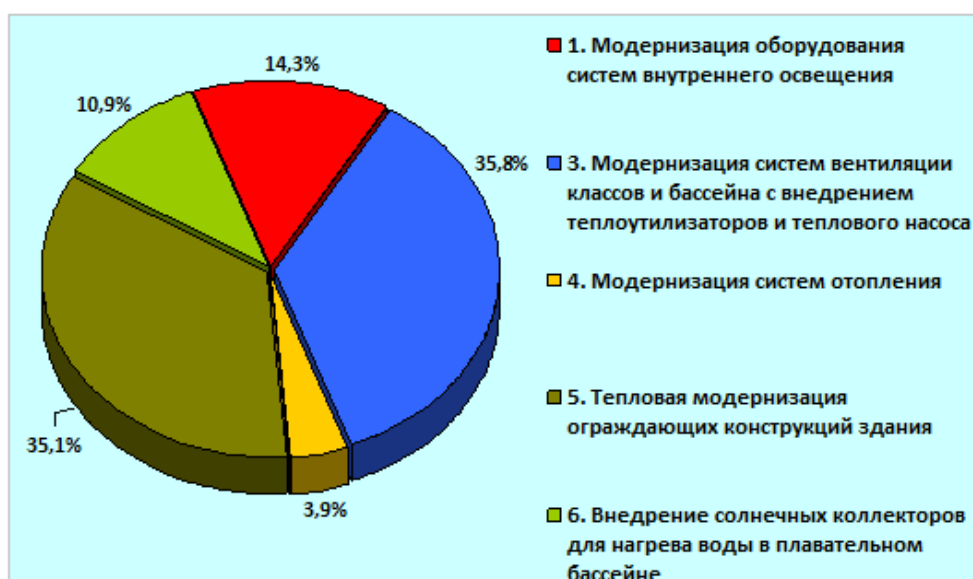


Рисунок 2. – Удельный вес слагаемых перспективного потенциала энергосбережения в зданиях школ

**Заключение.** Проведенное энергетическое обследование здания Базовой школы №10 г.Новополоцка, включая инструментальное, в целях энергосбережения показало необходимость:

- тепловой модернизации ограждающих конструкций с заменой окон;
- модернизации системы вентиляции плавательного бассейна с установкой утилизатора теплоты удаляемого воздуха;
- модернизации вентиляции учебных классов с целью создания комфортных условий пребывания учащихся;
- замены отопительных приборов и установки регулирующей арматуры на ветках отопления.

Комплекс аналогичных мероприятий можно рекомендовать для учебных заведений, построенных по проектам, разработанным до утверждения Изменения 1 к [3] от 01.07.2009г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об энергосбережении [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь, 8 янв. 2015г., №239-3 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 11.01.2015 г., 2/2237.
2. Самойлов, М.В. Основы энергосбережения: учеб. пособие / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. – Минск: Изд-во БРЭУ, 2002. – 198 с.
3. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-43-2006\* (02250). – Введ. 29.12.2006 (с отменой СНБ 2.04.01-97), переиздание (март 2015г.) с Изменениями №1-№6. – Минск: Минстройархитектуры, 2015. – 47 с.
4. Ануфриев, В.Н. Энергосбережение в зданиях: Производственно-практическое издание / В.Н. Ануфриева, Н.А. Андреевко.–Минск: Изд-во МОО "Экопроект Портнерство", 2011. – 76 с.
5. Нияковский, А.М. К вопросу модернизация систем вентиляции общеобразовательных школ/ А.М. Нияковский // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс]: электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет, 2018. – 399–403 с.

УДК 697.9

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ  
ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ  
УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ ЕЕ РАБОТЫ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ  
НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

*В.А. Зафатаев, С.В. Ланкович, А.С. Лапезо*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь  
e-mail: v.a.zafataev@pdu.by, s.lankovich@psu.by, a.lapezo@psu.by

*Для решения проблем энергоресурсосбережения при эксплуатации инженерных систем создания и поддержания микроклимата помещений предлагается применение системы тепловой вентиляции, в которой осуществляется утилизация теплоты удаляемого из помещений воздуха, используется теплота солнечной радиации и теплота трансмиссионных потерь здания.*

***Ключевые слова:** тепловой поток, утилизация теплоты, рекуперативный теплообменник, теплоизоляция, конвекция, вентиляция, энергосбережение.*

THERMODYNAMIC SUBSTANTIATION OF FORCED-AND-EXHAUST VENTILATION SYSTEM  
WITH THE REMOVABLE AIR HEAT-RECYCLING WORKING  
AT LOW TEMPERATURES OF EXTERNAL AIR CONDITIONS

*V. Zafatayeu, S. Lankovich, A. Lapezo*

Polotsk State University, Republic of Belarus  
e-mail: v.a.zafataev@pdu.by, s.lankovich@psu.by, a.lapezo@psu.by

*For the purpose of solving the energy and resource saving problems in the exploited microclimate engineering systems of the premises, it is proposed to use a thermal ventilation system in which the solar radiation heat, building transmission heat-losses and heat of the removed air are utilized.*

***Keywords:** heat flow, heat loss, recuperative heat exchanger, solar radiation, convection, ventilation.*

**Введение.** Тепловая энергия в конечном потреблении секторами национальной экономики Республики Беларусь занимает лидирующую позицию – её доля в топливно-энергетическом балансе составляет до 33% (конечное потребление по всем видам топливно-энергетических ресурсов более 26000 т у.т./год), причём доля конечного теплопотребления в секторе промышленности и в жилищном секторе составляет 37 и 38% соответственно [1].

Согласно второму закону термодинамики справедливо утверждение о том, что использование любого вида энергии высокого потенциала для поддержания температуры

в помещениях на нормируемом уровне чрезвычайно расточительно [2]. Термодинамическая необратимость процессов преобразования энергии приводит к тому, что на последних этапах её преобразования, в том числе и у потребителя, остаток эксергии первичного топлива ничтожно мал, и финансовое возмещение потерь эксергии на предыдущих звеньях цепочки энергетических преобразований не может осуществляться потребителем в полном объёме по причине высокой стоимости. Очевидно, что указанные обстоятельства не обходят стороной и существующую в стране систему энергообеспечения и энергопотребления. Таким образом в строящихся, реконструируемых и модернизируемых зданиях для повышения эффективности энергопотребления следует рассмотреть возможность вовлечения вторичных и возобновляемых энергетических ресурсов – солнечной радиации, бытовых тепловыделений и др.

**Постановка задачи.** Основными путями экономии тепловой энергии в гражданских зданиях является повышение эффективности строительных конструкций, объёмно-планировочных решений, инженерных систем и вовлечение в оборот вторичных и природных топливно-энергетических ресурсов [3].

Тепловая эффективность зданий во многом зависит от ориентации здания по сторонам света. Например фасады, имеющие ориентацию с СЗ по СВ, в противоположность фасадам, ориентированным с ЮВ по ЮЗ, менее выгодны для полезного использования теплоты солнечного излучения на обогрев здания, поэтому при проектировании следует стремиться к тому, чтобы северную ориентацию имел наименьший по площади фасад [4].

Для повышения эффективности энергопотребления в эксплуатируемых зданиях предлагается система тепловой вентиляции, в которой реализована возможность использования вторичных и природных энергетических ресурсов. В дневное время суток в течение отопительного периода в системе тепловой вентиляции здания осуществляется подогрев наружного приточного воздуха в щелевом канале со стороны наружного светопрозрачного вентилируемого фасада под действием прямой и рассеянной солнечной радиации. При движении по щелевому каналу наружный приточный воздух аккумулирует теплоту солнечной радиации, в том числе отражённую от поверхности наружной стены.

Также в системе круглосуточно осуществляется передача теплоты от греющего теплоносителя – вытяжного воздуха – к нагреваемому приточному воздуху в прямоточном теплообменнике тепловой камеры, конструктивно выполненном по схеме «труба в трубе», оборудованном в нижней части устройством дополнительного подогрева воздуха, содержащим тепловую пушку с газовой горелкой и электронагреватель. Эффективность теплообмена зависит от размеров теплообменной поверхности теплообменника и чем выше здание, тем более значительна рекуперация теплоты удаляемого воздуха и выше эффект энергосбережения. В случае незадействования устройства дополнительного подогрева воздуха верхним температурным пределом для приточного воздуха в таком теплообменнике является температура воздуха, удаляемого из помещений, поскольку при попутном движении двух теплоносителей в поверхностном рекуперативном теплообменнике на его холодном конце всегда сохраняется конечный температурный напор, стремящийся к нулю лишь при бесконечной площади поверхности теплообмена.

Конструктивное решение системы тепловой вентиляции поясняется схемой на рисунке 1.

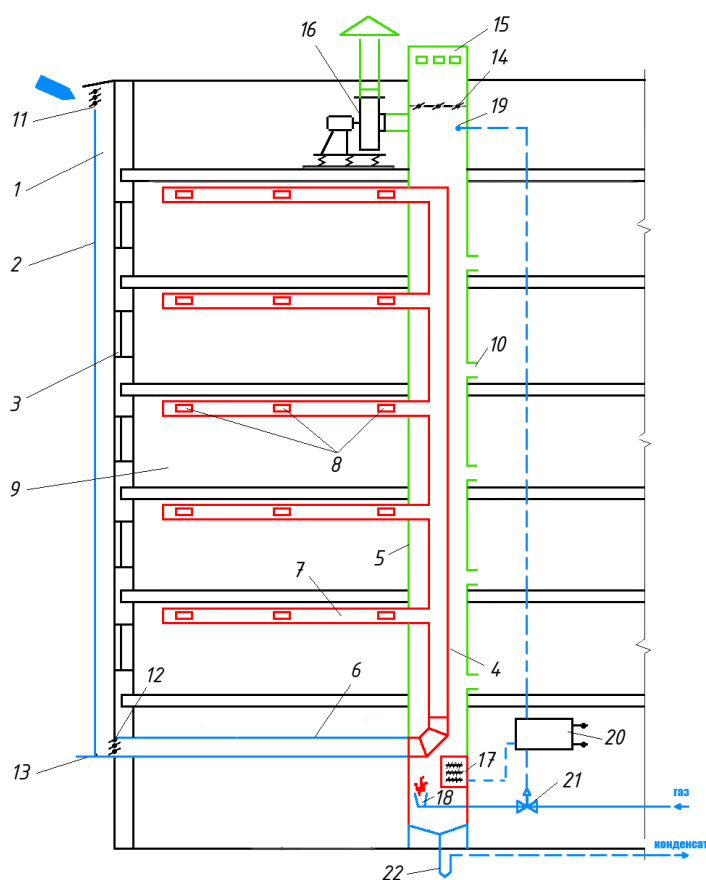


Рисунок 1. – Система тепловой вентиляции здания

Главные элементы системы тепловой вентиляции – это приточный и вытяжной вентиляционные тракты. Приточный тракт состоит из двух участков. Первый участок представляет собой первую теплообменную камеру и выполнен в виде щелевого канала 1, образованного наружным светопрозрачным вентилируемым фасадом 2 и поверхностью наружной стены с окнами 3. Второй участок приточного тракта представляет собой вторую теплообменную камеру и выполнен в виде вертикального воздуховода 4, расположенного внутри вытяжной шахты 5, соединённого с первой теплообменной камерой горизонтальным воздуховодом 6 в нижней части шахты. Приточный воздух поступает в вентилируемые помещения 9 через горизонтальные распределительные воздуховоды 7 и регулируемые приточные решётки 8. Вытяжной тракт включает вытяжные поквартирные патрубки 10, расположенные у пола помещений и присоединённые к вытяжной вертикальной шахте 5. Тёплый вытяжной воздух через стенки приточного воздуховода 4 передаёт теплоту наружному приточному воздуху, предварительно уже подогретому в щелевом канале 1 навесного фасада 2 за счёт теплоты, теряемой зданием через наружные ограждающие конструкции стен и окон 3.

Воздухозаборное устройство щелевого канала 1 включает регулируемую воздухозаборную решётку 11, расположенную в верхней части канала, а также утеплённый 12 и воздушный 13 клапаны, расположенные в нижней части щелевого канала.

Система наружного воздухоудаления включает оголовок 15 вытяжной шахты 5 с воздушным клапаном 14 и вентилятор 16.

Во второй теплообменной камере необходимый температурный режим поддерживается автоматически как с помощью электронагревателя 17, так и от газовой горелки 18. Сигналы датчика температуры – термометра сопротивления 19 по силовому электрокабелю поступают в шкаф автоматического управления 20. Электрическими импульсами осуществляется включение и отключение спиралей электронагревателя 17 или степень открытия и закрытия электромагнитного клапана 21 на газопроводе газовой горелки 18. Конденсат, образующийся в результате контакта продуктов сгорания с холодными поверхностями газохода, сливается в поддон с гидрозатвором 22 и сбрасывается в канализацию.

Задачами расчёта системы тепловой вентиляции здания является определение необходимости в использовании дополнительного подогрева приточного воздуха в электрокалорифере или за счёт теплоты, полученной при сжигании природного газа. При этом система тепловой вентиляции должна обеспечивать в помещениях нормируемую температуру воздуха вне зависимости от колебания температуры наружного воздуха и времени её стояния в течение отопительного периода, а экономический эффект от энергосбережения должен быть определён с учётом поступающей теплоты солнечной радиации и тепловых потерь здания через наружные ограждающие конструкции.

Исследовательская часть. Поступление теплоты от солнечной радиации не поддаётся упорядочиванию по часам суток и не зависит от температуры наружного воздуха (рисунок 2).

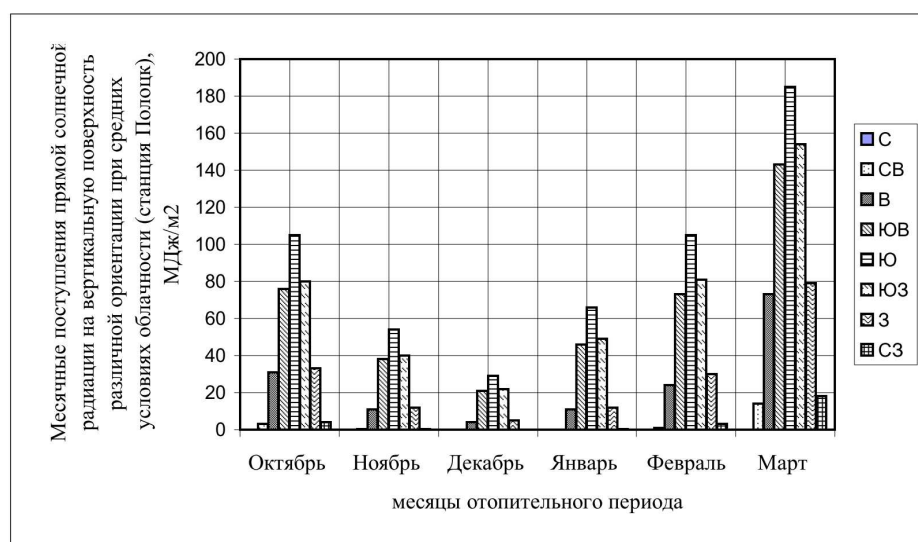


Рисунок 2. – Месячные поступления прямой солнечной радиации на вертикальную поверхность различной ориентации при средних условиях облачности в отопительный период, МДж/м<sup>2</sup> (метеорологическая станция «Полоцк», по данным СНБ 2.04.02-2000)

Поскольку наибольшее количество прямого солнечного излучения поступает на фасады зданий, имеющие ориентацию с ЮЗ по ЮВ, навесные панели предлагаемой системы тепловой вентиляции размещаются на этих стенах.

В практике градостроительства для светопрозрачных конструкций широко применяется обычное силикатное стекло толщиной от 2 до 6 мм, которое способно пропускать лучистую тепловую энергию от прямой и рассеянной солнечной радиации в зоне спектра видимых лучей, соответствующих длинам волн в пределах от 380 до 750 нм, и в инфракрасном диапазоне с длинами волн от 750 до 2500 нм. Вся эта теплота, проходя сквозь толщу остекления, воспринимается поверхностями из различного материала, которые при нагреве сами становятся источниками тепловой энергии в виде инфракрасного излучения с длиной волн от 7,5 до 14 мкм. Для излучения с таким диапазоном длин волн обычное стекло становится экраном с образованием в щели «парникового» эффекта, способствующего повышению теплозащитных качеств светопрозрачной конструкции.

Расчёт температуры воздуха в воздухоприёмном канале осуществлён на примере математической модели теплообмена в щели для двух случаев: 1. щель обогревается с одной стороны (прямая солнечная радиация отсутствует); 2. щель обогревается с двух сторон (навесная панель облучается прямой солнечной радиацией) ([5], [6]).

Исходные данные, принятые для расчёта:

а) Ширина и высота стекла навесной панели приняты кратными ширине и высоте стеновой панели одной жилой комнаты, а оптимальный размер щели воздухоприёмного канала принят как для вентилируемых воздушных прослоек [7].

б) Среднее по румбам значение суммарной солнечной радиации при средней облачности в отопительный период с октября по март включительно по данным табл. 3.15 СНБ 2.04.02-2000 для вертикальных поверхностей ограждений, ориентированных на В, ЮВ, Ю, ЮЗ и З составляет для г. Полоцка  $I_{cp}=223$  Вт/м<sup>2</sup>, для г. Минска  $I_{cp}=227$  Вт/м<sup>2</sup>.

в) Ввиду отсутствия зависимости между температурой наружного воздуха и интенсивностью солнечного излучения принято допущение, что за всё время стояния температур в пределах  $-26...-22^{\circ}\text{C}$  (для г. Полоцка это 37 часов отопительного периода) сохранялось устойчивое солнечное излучение, равное согласно СНБ 2.04.02-2000 среднему расчётному количеству за шесть месяцев отопительного периода – 223 Вт/м<sup>2</sup>.

г) Расчётная температура приточного воздуха, подаваемого в помещения, принята равной 18°C.

д) Производительность системы тепловой вентиляции принята исходя из нормируемого количества приточного воздуха на 1 м<sup>2</sup> жилой площади, равного 3 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>) согласно требованиям ТКП 45-3.02-324-2018 «Жилые здания». Для многоквартирных жилых зданий типовых серий, применяемых в Республике Беларусь [8], воздухообмен одной жилой комнаты площадью пола 4·5=20 м<sup>2</sup> нами оценён величиной в 3·20=60 м<sup>3</sup>/ч. Соответственно в 9-этажном жилом здании система вентиляции должна обеспечивать воздухообмен девяти таких комнат в количестве 9·60=540 м<sup>3</sup>/ч.

е) Размеры поперечного сечения приточно-вытяжной шахты подбираются исходя из условий обеспечения скорости приточного и удаляемого воздуха не более 2 м/с.

ж) При наличии солнечного излучения интенсивностью  $I_{cp}$  количество воспринятой приточным воздухом радиационной теплоты определяется исходя из значения тепловой

эффективности существующих солнечных панелей, которая в настоящее время не превышает  $E=0,14-0,17$  [7].

з) Коэффициент теплопропускания солнечного излучения стеклом навесной панели принят равным  $C_{cm}=0,8$  [9].

и) солнечное излучение, частично пропущенное стеклом навесной панели, частично воспринятое потоком приточного воздуха, поглощается наружной стеной с коэффициентом поглощения  $A=0,6$  [10], таким образом количество отражённой от стены в поток воздуха вторичной радиационной теплоты составляет  $0,8 \cdot (1-A) \cdot (1-E) \cdot I_{cp}$ .

Плотность результирующего теплового потока при теплообмене излучением между стенкой и воздухом [11]:

$$q_{изл.рез} = \varepsilon'_{cm} (E_{cm} - E_2) \quad (1)$$

где  $\varepsilon'_{cm}$  – эффективная степень черноты поверхностей канала,

$$\varepsilon'_{cm} = \frac{\varepsilon_{cm} + 1}{2};$$

$\varepsilon_{cm}$  – степень черноты стенок канала, принята равной 0,93;

$E_{cm}$  – плотность потока излучения, поглощённого воздухом от стенок канала (складывается из части излучения, падающего на навесную панель, и излучения, отражённого от поверхности стены);

$E_2$  – плотность потока собственного излучения воздуха при его температуре в воздухоприёмном канале.

к) При отсутствии солнечного излучения температура наружной поверхности стены на 2-3°C выше температуры наружного воздуха, и согласно теплотехническому расчёту по методике ТКП 45-2.04-43-2006 составила –22,1°C. При наличии солнечного излучения интенсивностью  $I_{cp}$  температура наружной поверхности стены согласно расчёту радиационного теплообмена [11] повысится до –5,4°C при температуре наружного воздуха –25°C;

л) Радиационная теплота солнечного излучения проходит через светопрозрачные оконные конструкции и нагревает внутренние поверхности помещений, что учитывается дополнительно при расчёте бытовых теплопоступлений как:

$$Q_{быт.дол} = 9 \cdot (1-\eta) \cdot F_{ном} + C_{cmn} \cdot C_{cm} \cdot (1-E) \cdot F_{осм}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий способ регулирования тепловой нагрузки системы отопления здания, принят равным 0,2 согласно прил.М СНБ 4.02.01-03;  $C_{cmn}$  – коэффициент теплопропускания стеклопакета, колеблется в пределах 0,3-0,75 [12], принят равным 0,6;  $F_{ном}=4 \cdot 5=20$  м<sup>2</sup>,  $F_{осм}=1,5 \cdot 2=3$  м<sup>2</sup> – площади пола помещения и остекления соответственно.

м) Количество теплоты, требуемой для нагрева инфильтрирующегося воздуха, рассчитывается согласно методике прил.К СНБ 4.02.01-03 и учитывается в тепловом балансе только для периода отсутствия солнечного излучения. При наличии солнечного излучения инфильтрирующийся воздух подогревается за счёт теплоты солнечной радиации и входит в тепловой баланс как теплоприток. При отсутствии навесного фасада расход



теплоты на нагрев наружного воздуха при инфильтрации составляет по расчёту  $Q_{инф} = 9151$  Вт.

В связи с вышеизложенным, теплообмен в дневное время суток может значительно отличаться от теплообмена в ночное время суток, и уравнение теплового баланса примет вид:

для периода без солнечного излучения

$$\pm \Delta Q = Q_{тр}^{ст} + Q_{тр}^{ок} + Q_{тр}^{пл} + Q_{тр}^{нм} + Q_{инф} - Q_{быт}, \text{ Вт}$$

для периода с наличием солнечного излучения

$$\pm \Delta Q = Q_{тр}^{ст} + Q_{тр}^{ок} + Q_{тр}^{пл} + Q_{тр}^{нм} - Q_{быт.доп} - Q_{конв}, \text{ Вт.}$$

Здесь  $Q_{тр}^{ст}$ ,  $Q_{тр}^{ок}$ ,  $Q_{тр}^{пл}$ ,  $Q_{тр}^{нм}$  – трансмиссионные потери теплоты через стены, окна, перекрытие подвала и покрытие (чердачное перекрытие);  $Q_{инф}$  – потери теплоты на нагрев инфильтрирующегося воздуха;  $Q_{быт}$ ,  $Q_{быт.доп}$  – соответственно бытовые тепловыделения и тепловыделения в помещениях с учётом аккумулированной теплоты внутренними поверхностями;  $Q_{конв}$  – конвективный тепловой поток от воздуха к стене в воздухоприёмном канале.

Прирост температуры приточного воздуха в воздухоприёмном канале в пределах одного этажа определён по формуле:

$$\Delta t = \frac{3600 \cdot (q_{изл.рез} + q_{конв}) \cdot F_{пан} \cdot z_{пан}}{L_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot c_{пр}} \quad (3)$$

где  $q_{конв}$  – плотность конвективного потока между стеной и воздухом в воздухоприёмном канале, Вт/м<sup>2</sup>;  $F_{пан}$  – площадь поверхности стены (без учёта оконного проёма), м<sup>2</sup>;  $z_{пан}$  – количество навесных панелей для пропуска расчётного количества  $L_{пр}$ , м<sup>3</sup>/ч, приточного воздуха, штук;  $\rho_{пр}$ ,  $c_{пр}$  – плотность и теплоёмкость приточного воздуха в воздухоприёмном канале в пределах одного этажа соответственно, кг/м<sup>3</sup>, Дж/(кг·°C).

Давая технико-экономическую оценку энергосберегающим мероприятиям принято оценивать эффективность вариантов путём приведения расхода топливно-энергетических ресурсов к единому показателю – т у.т. Согласно справке Департамента по энергоэффективности Госкомитета по стандартизации РБ в 2018 г. расчетную стоимость 1 т у.т. принимают равной 220 долларов США, а официальный курс белорусского рубля по отношению к доллару США – на дату составления расчетов (2,16 BYN/\$US).

Годовое замещение тепловой энергии в пересчёте на условное топливо:

$$B_{тэ} = Q \cdot b_{тэ}, \text{ т у.т./год}, \quad (4)$$

где  $Q$  – теплопроизводительность системы тепловой вентиляции, Гкал;

$b_{тэ} = 0,1666$  т у.т./Гкал – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике.

Годовой расход электрической энергии в пересчёте на условное топливо:

$$B_{ээ} = N \cdot b_{ээ} \cdot 10^{-3}, \text{ т у.т./год}, \quad (5)$$

где  $N$  – потребляемая электрическая мощность, кВт·ч/год (привода вентилятора);

$b_{ээ} = 0,2818$  кг у.т./(кВт·ч) – удельный расход топлива на производство электрической энергии на источнике.

Годовое денежное выражение экономии и затрат:

$$З = B_{ээ} \cdot C_{топл}, \text{ ВУН/год}, \quad (6)$$

где  $C_{топл} = 220 \cdot 2,16$  ВУН – стоимость 1 т у.т.

Экономия теплоты, Гкал, за время стояния температур в пределах  $-26...-22^{\circ}\text{C}$  в случае наличия в эти часы устойчивого солнечного излучения в количестве  $223 \text{ Вт/м}^2$  определится по формуле:

$$\mathcal{E}_Q = 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot \left( |Q_{тр}^{cm} + Q_{тр}^{ок} + Q_{тр}^{nl} + Q_{тр}^{nm} - Q_{быт.дон} - Q_{конв}| + Q_{ТВТ} \right) \cdot z_{ч}, \quad (7)$$

где  $Q_{ТВТ}$  – подогрев приточного воздуха в прямоточном теплообменнике тепловой камеры, конструктивно выполненном по схеме «труба в трубе», кВт;  $z_{ч}$  – время стояния температур наружного воздуха, часов.

Затраты теплоты, Гкал, за время стояния температур в пределах  $-26...-22^{\circ}\text{C}$  в случае отсутствия в эти часы солнечного излучения:

$$\mathcal{Z}_Q = 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot \left( Q_{тр}^{cm} + Q_{тр}^{ок} + Q_{тр}^{nl} + Q_{тр}^{nm} + Q_{инф} - Q_{быт} - Q_{ТВТ} \right) \cdot z_{ч}. \quad (8)$$

Затраты электроэнергии, кВт·ч, на работу вентилятора предлагаемой системы тепловой вентиляции:

$$\mathcal{Z}_N = (N_{кан} + N_{ТВТ}) \cdot z_{ч}, \quad (9)$$

где  $N_{кан}$ ,  $N_{ТВТ}$  – требуемые мощности на прокачку воздухоприёмного канала, а также приточного и вытяжного каналов теплообменника «труба в трубе», кВт.

Результаты исследований. За счёт солнечного излучения средней интенсивностью  $223 \text{ Вт/м}^2$  приточный воздух в количестве  $540 \text{ м}^3/\text{ч}$ , проходящий в воздухоприёмном канале, имеющем ориентацию на В, ЮВ, Ю, ЮЗ или З, подогревается на  $29,6-58,1^{\circ}\text{C}$  (минимальные значения – для одной навесной панели, максимальные – для четырёх) при его начальной температуре  $-25^{\circ}\text{C}$ , – рисунок 3.

Степень утилизации тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции здания для целей подогрева приточного воздуха в воздухоприёмном канале зависит от величины этих потерь, тепловой инерционности ограждений (времени хода процесса передачи теплоты) и температуры наружной поверхности наружных ограждающих конструкций. Так, жилые здания, теплозащитная оболочка которых обеспечивает нормируемый уровень теплозащиты согласно требованиям ТКП 45-2.04-43-2006, имеют удельные тепловые потери с  $1 \text{ м}^2$  утеплённой конструкции стены, как правило, не более

6-8 Вт/м<sup>2</sup>, а температура на наружной поверхности теплозащитной оболочки выше температуры наружного воздуха не более чем на 2-3°C, т.е. не более чем на величину абсолютной погрешности метода тепловизионных измерений. Таким образом за счёт трансмиссионной теплоты, теряемой зданием, приточный воздух, проходящий в воздухоприёмном канале, согласно нашим расчётам подогреется на 1,2-2,7°C (минимальные значения – для одной навесной панели, максимальные – для четырёх) при его начальной температуре –25°C, – рисунок 3.

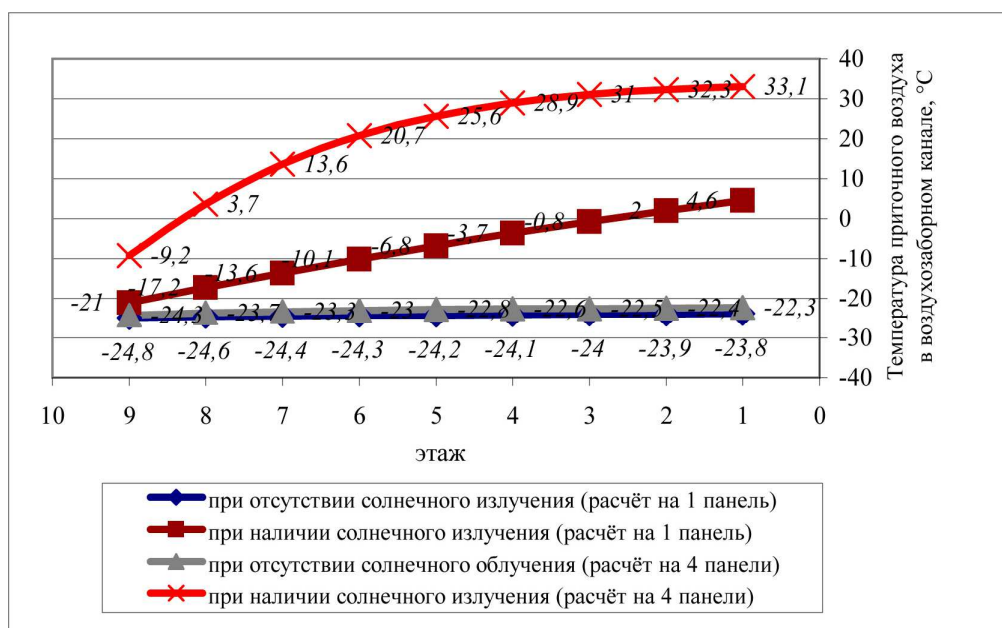


Рисунок 3. – Зависимость температуры приточного воздуха в воздухоприёмном канале от высоты здания

Результаты расчёта теплообмена в воздухоприёмном канале показывают, что чем большее количество секций солнечной панели используется для пропуска расчётного количества приточного воздуха (540 м<sup>3</sup>/ч), тем быстрее увеличивается подогрев воздуха на двух верхних этажах здания, и тем ближе по абсолютной величине становятся величины плотностей результирующего потока излучением и конвекцией (рисунок 4). При этом от верха к низу по ходу движения воздуха результирующий поток излучением падает медленнее, чем конвективный поток, который уменьшается до нуля в месте нулевого температурного напора между воздухом и стеной, и затем вновь начинает возрастать, изменив направление. По мере восприятия новых порций теплового излучения температура приточного воздуха в воздухоприёмном канале повышается и наконец становится выше, чем температура поверхности стены. В этот момент вектор конвективного теплового потока меняет направление на противоположное, в результате воздух по мере продвижения вниз начинает охлаждаться, отдавая стене теплоту конвекцией. Возрастание температуры приточного воздуха при движении по воздухоприёмному каналу к нижним этажам постепенно прекращается из-за возрастающего «экономайзерного» эффекта в ограждающей конструкции.

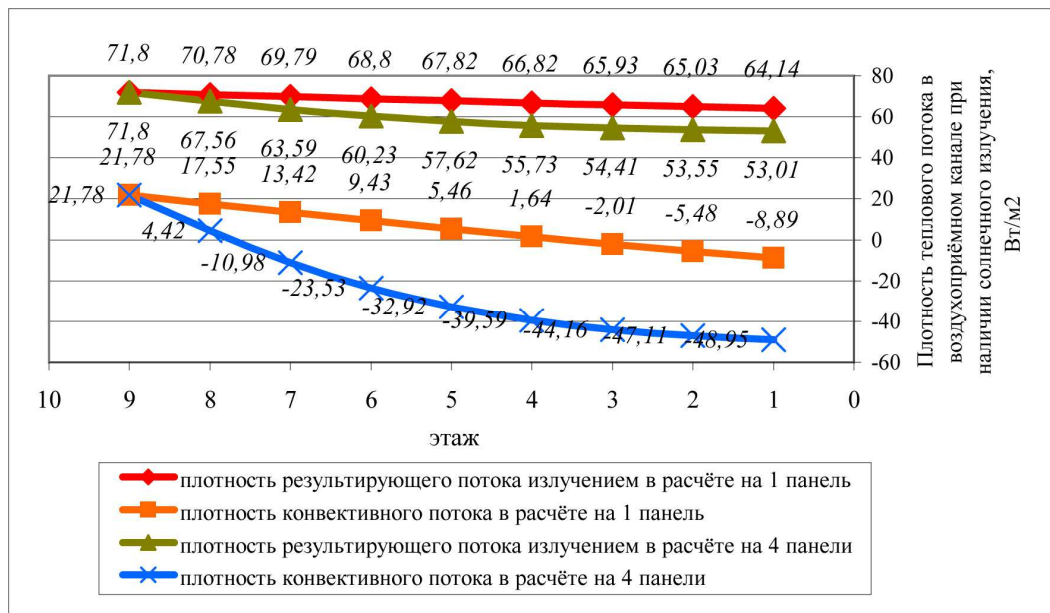


Рисунок 4. – Зависимость плотности теплового потока в воздухоприёмном канале от высоты здания при наличии солнечного облучения

При устойчивом солнечном облучении навесной панели интенсивностью  $223 \text{ Вт/м}^2$  за время стояния температур  $-26...-22^\circ\text{C}$  подогрев  $540 \text{ м}^3/\text{ч}$  приточного воздуха даёт экономию теплоты  $0,16 \text{ Гкал}$  ( $181 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ ), или в денежном выражении  $12,32 \text{ бел.руб.}$  За тот же период времени при тех же температурах наружного воздуха в случае отсутствия устойчивого солнечного излучения затраты на обогрев составляют  $0,32 \text{ Гкал}$  ( $375,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ ), или в денежном выражении  $25,60 \text{ бел.руб.}$  Затраты электроэнергии на компенсацию аэродинамических потерь в системе тепловой вентиляции с расходом воздуха  $540 \text{ м}^3/\text{ч}$  за тот же период времени составляют  $1,11 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , или в денежном выражении  $0,15 \text{ бел.руб.}$

Таким образом, за счёт организации воздухозаборного канала с шириной стекла навесной панели равной ширине стеновой панели одной жилой комнаты и размещения его на стенах, ориентированных на В, ЮВ, Ю, ЮЗ или З, экономия теплоты на обогрев при наличии солнечного излучения составит  $50,7\%$  от затрат тепловой энергии в традиционных системах отопления и вентиляции гражданских зданий. Затраты электроэнергии на работу вентилятора системы тепловой вентиляции невелики и составляют  $0,57\%$  относительно получаемого эффекта за счёт экономии теплоты на обогрев. Приточно-вытяжная шахта в виде теплообменника типа «труба в трубе» даёт  $37,2\%$  теплового эффекта системы тепловой вентиляции, однако в случае повышения температуры наружного воздуха или организации воздухозаборного канала, содержащего две и более навесных панели по ширине для пропуска расчётного количества приточного воздуха, тепловая эффективность теплообменника типа «труба в трубе» будет снижаться по причине фиксированного положительного температурного напора на его холодном конце.

При устойчивом солнечном облучении навесной панели интенсивностью  $223 \text{ Вт/м}^2$  в диапазоне температур наружного воздуха  $-26...+8^\circ\text{C}$  в отопительный период температура поверхности стены здания внутри воздухоприёмного канала повышается с  $-5,4^\circ\text{C}$

до +18,4°C (рисунок 5). При этом температура воздуха на выходе из воздухоприёмного канала в расчёте на одну солнцеприёмную панель возрастает до 4,6...31,1°C (рисунок 6).

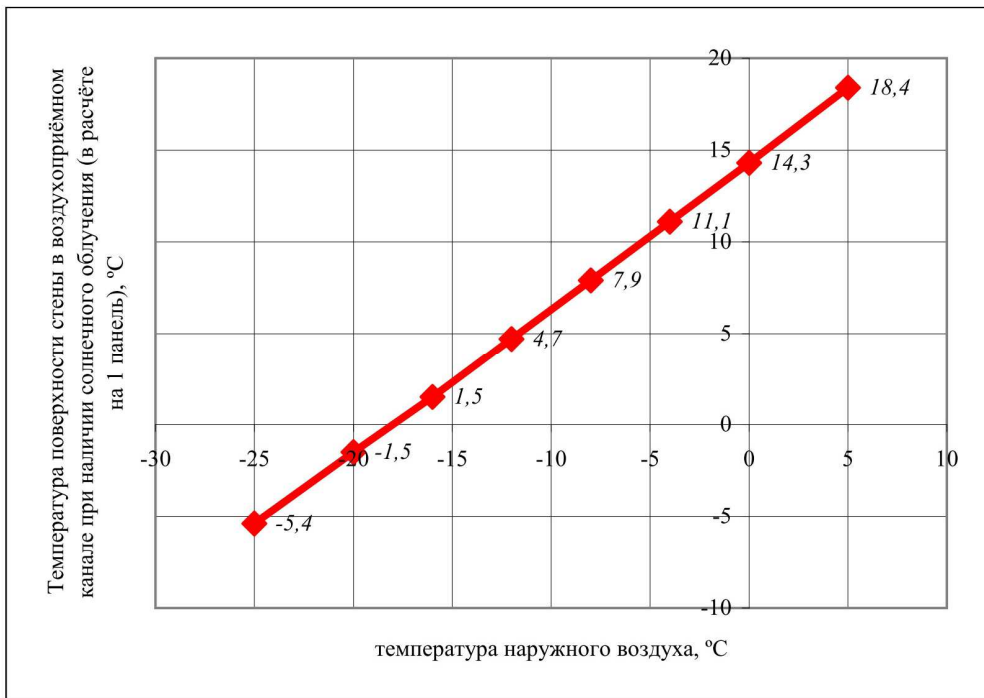


Рисунок 5. – Зависимость температуры облучённой поверхности стены внутри воздухоприёмного канала от температуры наружного воздуха (при наличии устойчивого солнечного облучения)

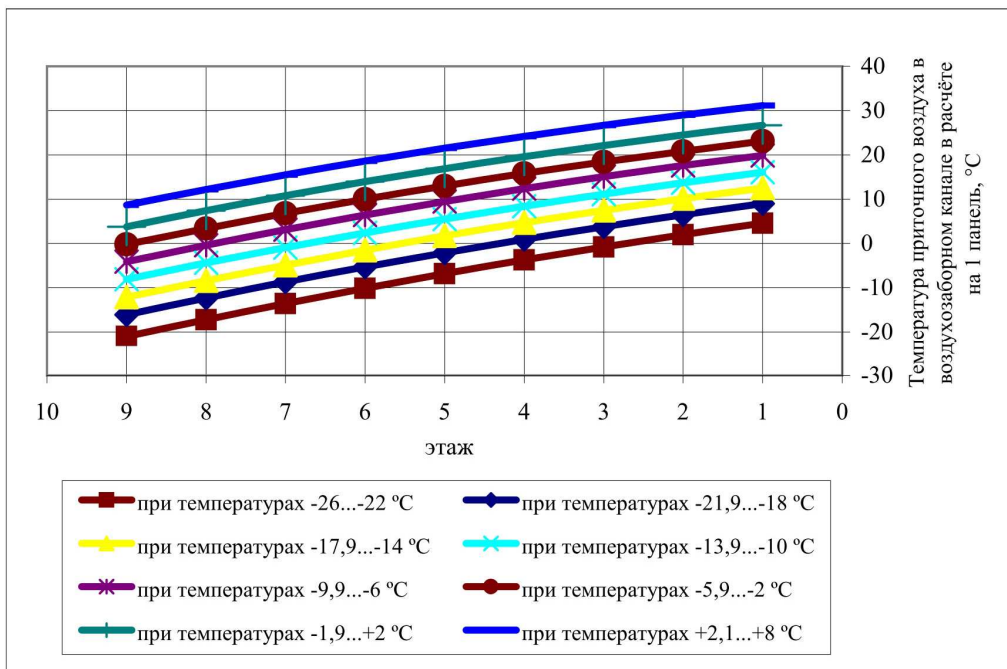


Рисунок 6. – Изменение температуры воздуха в воздухоприёмном канале по этажам здания при различных температурах наружного воздуха (при наличии устойчивого солнечного облучения)

Как видно из рисунка 6 при повышении температуры наружного воздуха требуемая мощность догрева приточного воздуха в теплообменнике типа «труба в трубе» снижается и при температурах наружного воздуха от  $-5,9^{\circ}\text{C}$  и выше при наличии устойчивого солнечного облучения навесной панели становится равной нулю. Таким образом, для недопущения перегрева помещений в вышеуказанные периоды следует перекрывать канал удаляемого воздуха в теплообменнике типа «труба в трубе», соответственно выключая последний из работы, а удаление загрязнённого воздуха из помещений производить по резервным вентиляционным шахтам без рекуперации его теплоты в системе рассматриваемой тепловой вентиляции. Необходимость использования дополнительного подогрева приточного воздуха в электрокалорифере или теплоты сжигания природного газа в предлагаемой системе тепловой вентиляции отпадает при температурах наружного воздуха от  $-18^{\circ}\text{C}$  и выше – догрев воздуха осуществляется в теплообменнике типа «труба в трубе».

Определение степени экономии энергии на нужды отопления здания по месяцам отопительного периода за счёт применения предлагаемой системы тепловой вентиляции затруднительно, поскольку в действующих ТНПА отсутствует информация о времени стояния температур наружного воздуха по месяцам. Кроме того, невозможно установить определённую взаимосвязь между помесечной продолжительностью солнечного сияния (рисунок 7) и температурой наружного воздуха (рисунок 8).

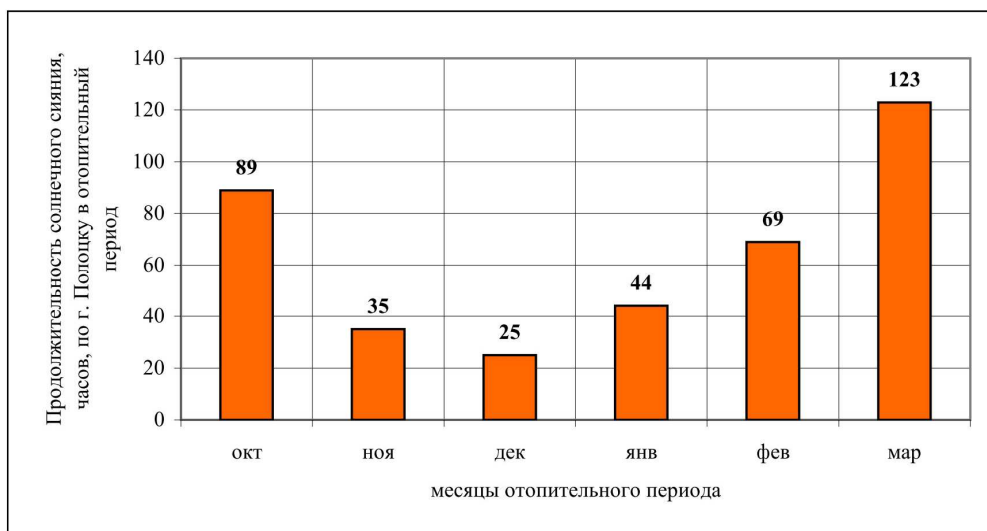


Рисунок 7. – Продолжительность солнечного сияния, часов, по г. Полоцку по месяцам отопительного периода (по данным СНБ 2.04.02-2000)

Таким образом, оценку степени экономии энергии на нужды отопления здания за счёт применения предлагаемой системы тепловой вентиляции в денежном выражении можно дать только для отопительного периода в целом, взяв за основу общее количество часов солнечного сияния в течение отопительного периода, – 385 часов для г. Полоцка согласно рисунку 7, и общее количество дней стояния температур в диапазоне –

26...+8°C, – 4968 часов для г. Полоцка согласно рисунку 8. Тогда оценка помесечной экономии энергии на нужды отопления может быть дана в виде доли от общей экономии в отопительный период, где коэффициентом пропорциональности будет выступать продолжительность солнечного сияния в часах по каждому месяцу отопительного периода, отнесённая к среднему количеству часов в месяце отопительного периода. Так для г. Полоцка длительность отопительного периода составляет 207 суток или 4968 часов, что в среднем на каждый из 6 месяцев составляет 828 часов. Таким образом, время солнечного сияния в октябре составит 10,7% от среднемесечного времени работы системы тепловой вентиляции, в ноябре – 4,2%, в декабре – 3,0%, в январе – 5,3%, в феврале – 8,3%, в марте – 14,9%.

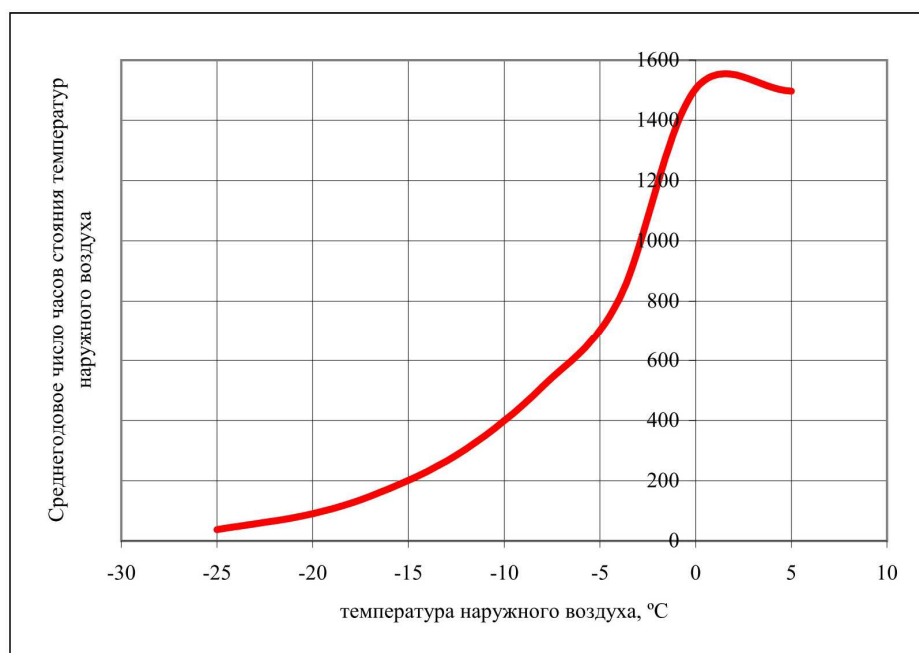


Рисунок 8. – Среднегодовое число часов стояния температур наружного воздуха по г. Полоцку (по данным СНБ 2.04.02-2000)

На рисунке 9 показано изменение величин экономии энергии на нужды отопления за счёт применения предлагаемой системы тепловой вентиляции (при наличии устойчивого солнечного облучения) и величин затрат энергии на нужды отопления (в случае неприменения или при отсутствии средств рекуперации тепловой энергии из удаляемого воздуха, трансмиссионных потерь теплоты зданием, а также теплоты солнечной радиации) в зависимости от температуры наружного воздуха.

Согласно выполненным расчётам (рисунок 9) видно, что необходимость в использовании дополнительных средств поддержания параметров микроклимата в помещениях здания отпадает при температурах наружного воздуха от  $-2^{\circ}\text{C}$  и выше при наличии устойчивого солнечного облучения здания, поскольку расчётная величина возможной экономии энергии за счёт рекуперации тепловой энергии из удаляемого воздуха, трансмиссионных потерь теплоты зданием, а также теплоты солнечной радиации в предлага-

емой системе тепловой вентиляции будет превышать затраты энергии на отопление аналогичного здания, не оборудованного предлагаемой системой тепловой вентиляции. Максимальные затраты энергии на нужды отопления в отопительный период по зданию без средств рекуперации энергии или в случае полного отсутствия солнечного облучения могут составить 15,63 Гкал (1237,29 бел. руб.), а максимальная экономия энергии на нужды отопления за отопительный период в аналогичном здании с предлагаемой системой тепловой вентиляции в случае наличия устойчивого солнечного облучения составит 13,35 Гкал (1057 бел. руб.). Реальная экономия в расчёте на одну солнцеприёмную панель девяти типовых жилых комнат за 385 часов солнечного сияния в течение отопительного периода составляет 1,04 Гкал или 82,61 бел. руб.

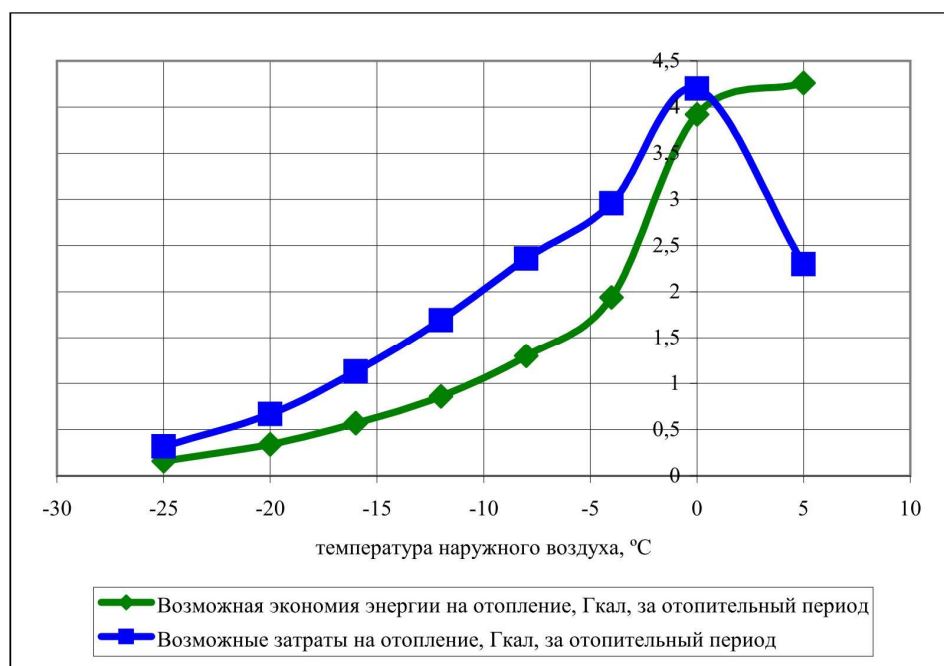


Рисунок 9. – Возможная экономия и затраты энергии на нужды отопления, Гкал, за отопительный период в расчёте на одну солнцеприёмную панель девяти типовых жилых комнат

**Заключение.** Результаты выполненных исследований могут служить руководством для совершенствования отопительно-вентиляционных систем, поскольку настоящим показана возможность повышения эффективности энергопотребления эксплуатируемых зданий за счёт использования теплоты солнечного излучения, теплоты удаляемого из помещений воздуха, а также низкопотенциальной трансмиссионной теплоты, теряемой зданием в окружающую среду при низких температурах наружного воздуха.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетический баланс Республики Беларусь / редкол.: И.В. Медведева (отв. ред.) [и др.] / Мн., 2017. – 153 с. – (Статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь).



2. Кузнецов, Ю.В. Энергосберегающие технологии и мероприятия в системах энергосбережения / Ю.В. Кузнецов, С.В. Федорова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 356 с.
3. Молодёжникова, Л.И. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / Л.И. Молодёжникова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 205 с.
4. Беляев, В.С. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий / В.С. Беляев, Л.П. Хохлова. – М.: Высш. шк., 1991. – 255 с.
5. Бессонный, А.Н. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения / А.Н. Бессонный, Г.А. Дрейцер, В.Б. Кунтыш. – Спб.: Недра, 1996. – 512 с.
6. Маньковский, О.Н. Теплообменная аппаратура химических производств / О.Н. Маньковский, А.Р. Толчинский, М.В. Александров. – Л.: Химия, 1976. – 369 с.
7. Ганжа, В.Л. Основы эффективного использования энергоресурсов: теория и практика энергосбережения / В.Л. Ганжа. – Мн.: Белорус. наука, 2007. – 451 с.
8. Серии домов и планировки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tipdoma.com/serii-domov-belarus/> . – Дата доступа 11.11.2017.
9. Сазонов, Э.В. Вентиляция общественных зданий : учеб. пособие / Э.В. Сазонов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. – 188 с.
10. Русланов, Г.В. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий / Г.В. Русланов, Э.Л. Ямпольский. – Киев: Будивельник, 1983. – 272 с.
11. Брюханов, О.Н. Тепломассообмен / О.Н. Брюханов, С.Н. Шевченко. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 460 с.
12. Фокин, В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 256 с.

УДК 697.922

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
ДЛЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ С ВЫСОТОЙ ЭТАЖА БОЛЕЕ ЧЕТЫРЁХ МЕТРОВ

*С.И. Пивоварова, Н.А. Василевич, Д.А. Василевич, Е.В. Бобкова*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: s.i.pivovarova@psu.by

*В статье предложены энергоэффективные схемы систем отопления для гражданских зданий с высотой этажа более 4 (четырёх) метров для улучшения микроклимата помещения. Запроектированы горизонтальные системы водяного отопления с нижней разводкой для культового здания, которые так же применимы для жилых индивидуальных зданий коттеджного типа с высотой этажа более четырёх метров.*

**Ключевые слова:** микроклимат, культовое здание, отопительные приборы, рециркуляционные конвективные потоки, энергоэффективная система отопления, возобновляемый источник энергии.

ENERGY-SAVING WATER HEATING SYSTEMS USING RENEWABLE ENERGY SOURCES  
FOR CIVIL BUILDINGS WITH HIGH FLOORS MORE THAN FOUR FOUR METERS

*S. Pivavarava, M. Vasilevich, D. Vasilevich, E. Bobkova*

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: s.i.pivovarova@psu.by

*The article proposes energy-efficient heating systems for civil buildings with a floor height of more than 4 (four) meters to improve the indoor microclimate. Designed horizontal water heating systems with lower wiring for a cult building, which are also applicable to residential individual cottage-type buildings with a floor height of more than four meters.*

**Keywords:** microclimate, cult building, heating devices, recirculating convective flows, energy-efficient heating system, renewable energy source.

Введение. В Республике Беларусь с утверждением норм на проектирование и строительство жилых зданий усадебного типа с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1], при проектировании инженерных систем создания микроклимата в гражданских зданиях и индивидуальных жилых зданиях коттеджного начали шире использовать нормативные требования по энергосбережению [2, 3, 4]. Для гражданских зданий в Республике Беларусь рекомендуется создавать энергоэффективные системы отопления и вентиляции, где обосновывается использование схем «пассивных» солнечных систем и схемы гелиосистем с использованием различных коллекторов солнечной энергии [5, 6]. Перспективным и энергоэффективным направлением для Республики Беларусь определено приме-

нение солнечной энергии в гелиосистемах воздушного отопления с естественной циркуляцией с использованием «пассивных» устройств для фасадов южной ориентации, а также применение водяных насосных гелиосистем с плоскими гелиоколлекторами с искусственной циркуляцией теплоносителя для жилищного домостроения [6].

Необходимо отметить, что активное применение возобновляемых источников энергии в мире помогло Республике Беларусь участвовать в новом приоритетном проекте по созданию «зелёных» рабочих мест, а с 2015 по 2018 годы в нашей стране реализован проект «Содействие переходу Республики Беларусь к «зеленой» экономике».

**Основная часть.** Для проектирования энергоэффективных систем отопления, наряду со стальными водогазопроводными трубами, широко стали применяться полимерные и металлополимерные трубы, усовершенствовались способы ведения монтажных работ инженерных систем [7, 8, 9, 10].

В современных индивидуальных домах коттеджного типа, а также в культовых зданиях с высотой этажа более 4 м, были отмечены рядом исследователей процессы нарушения микроклимата по высоте помещений и негативное влияние конвективных ниспадающих воздушных потоков, которые содержат сажевые частицы и пыль [11, 12, 13, 14], которые ухудшают интерьер этих помещений. Особенно чёткие рекомендации даются в пункте 7.1.17 [1] по распределению тепловых нагрузок при проектировании энергоэффективной системы отопления, с целью поддержания микроклимата в помещении и сохранения теплотехнических свойств строительных конструкций. Эти требования технической нормативной литературы нами учтены при расчёте отопительного прибора из гладкой трубы и стояка проложенного на второй ярус помещения молебного зала. Для этого принята расчётная тепловая нагрузка на 20 % больше расчётных тепловых потерь верхней части культового здания с учётом тепловых потерь через купол и световые проёмы в нём.

С целью улучшения микроклимата культовых зданий с учётом названных выше технических нормативных требований, а так же для возможности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для инженерных систем отопления и вентиляции в гражданских зданиях, нами предложена конструктивно выполненная энергоэффективная горизонтальная схема системы отопления с отдельной веткой из гладких труб, для отопления верхней зоны выше 4 м (рис. 1-4). В системе отопления запроектирована горизонтальная ветвь с отопительными приборами размещёнными у наружных стен и под оконными проёмами нижнего яруса окон [15, 16], а верх и низ отопительных приборов первого и второго ярусов располагаются от уровня чистого пола на высоте по требованиям раздела 6 [10]. Приборы отопления оснащены терморегулирующими клапанами.

Также по заданию заказчика была рассчитана схема энергоэффективной системы напольного отопления с применением монтажного метода укладки «двойная проводка» [7,8,9] представленная на рисунке 5, разрез здания на рисунке 1, и особенности проектирования которой рассмотрены ранее [14, 18]. Для отопления купола верхней зоны выполнена горизонтальная система отопления с отопительным прибором из гладкой трубы, который установлен на высоте (+8,300 метра). Ветви в системе отопления распределяются от электрического котла, который расположен в помещении топочной за стеной алтаря [16]. Для работы котла с низкими параметрами теплоноситель вода подогревается с использованием электрической энергии, так же применяется вакуумный расширительный бак.

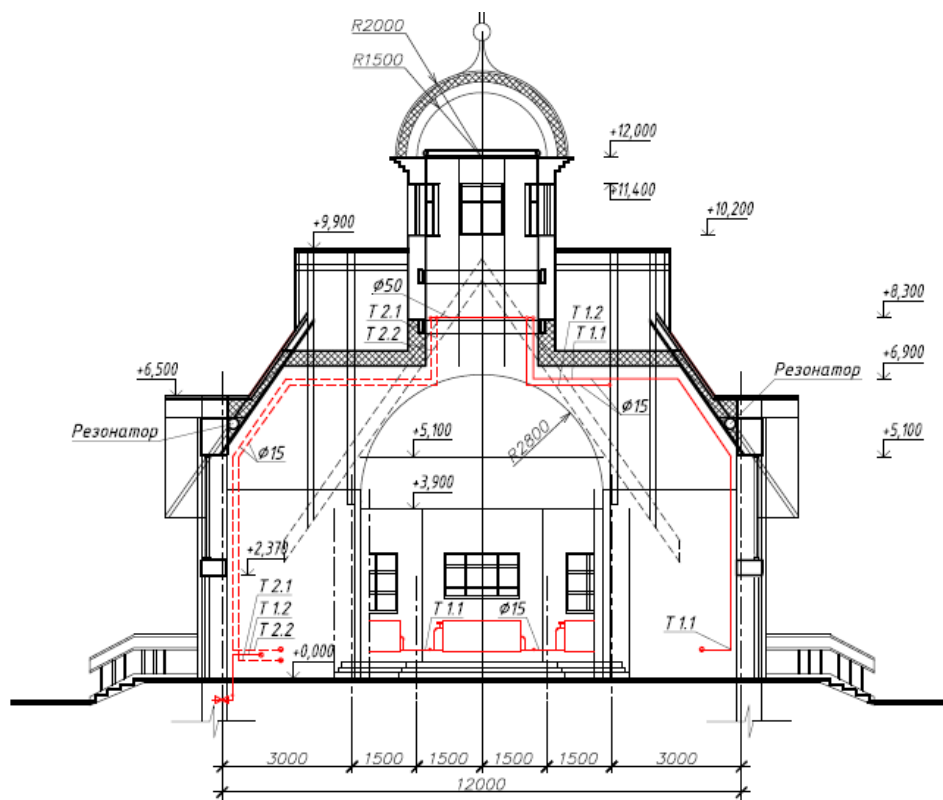


Рисунок 1. – Горизонтальная система отопления с веткой для купола с отопительными приборами из гладких труб на разрезе культового здания церкви

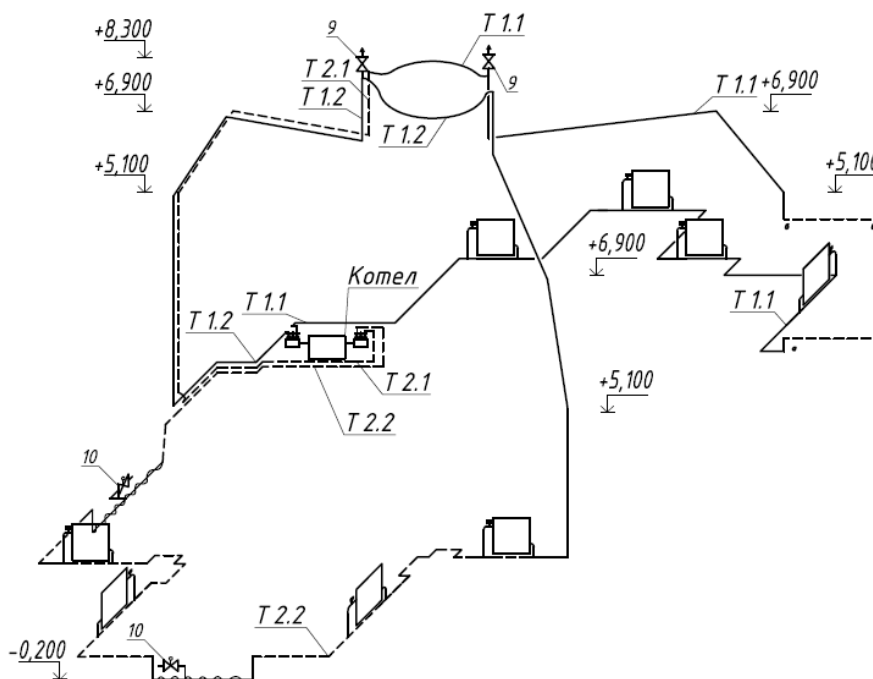
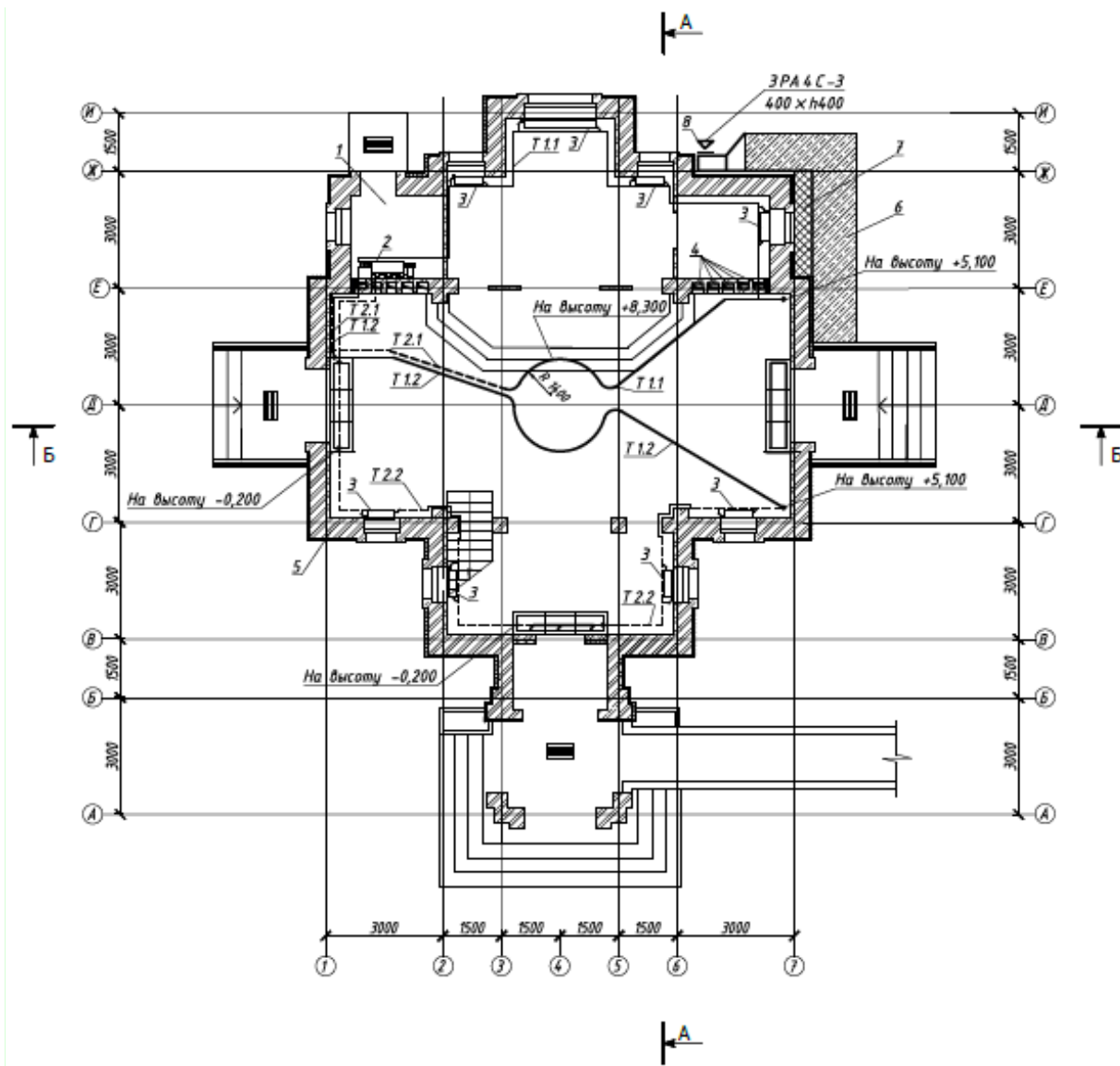


Рисунок 2. – Аксонометрическая схема системы отопления церкви с размещением ветки второго яруса на высоте от +5,100 до +8,300 метров, где в котле используется электрическая энергия от гелиоколлектора



- 1 – помещение топочной; 2 – электрический котёл с циркуляционным насосом;
- 3 – отопительные приборы; 4 – каналы вентиляционные в кирпичной стене для системы естественной вентиляции; 5 – наружная стена здания; 6 – конструкция пассивного коллектора солнечной энергии (КСЭ) с адсорбером из штучных материалов;
- 7 – утеплитель у наружной стены для конструкции пассивного КСЭ;
- 8 – три наружных жалюзийных решётки марки РА4С-3 для подачи приточного воздуха закреплённые на воздуховоде (400 x 400) на высоте от уровня земли (+2500 мм)

Рисунок 3. – Система отопления горизонтальная однотрубная с ветками подающей Т1.1. и обратной Т2.1. магистрали и отдельной веткой системы для обогрева второго яруса под купольной зоны на высоте от +5,100 до +8,300 метров на плане церкви

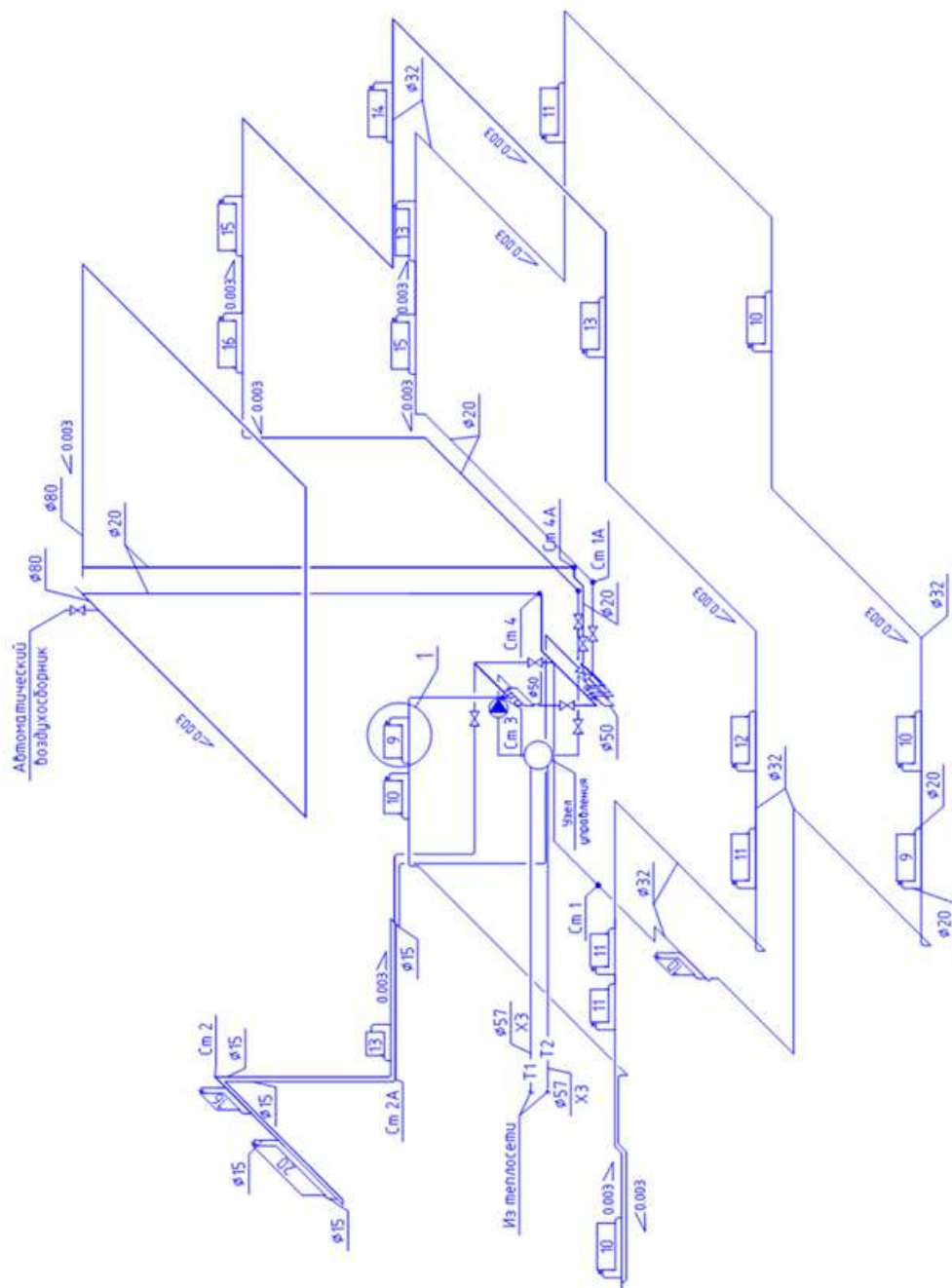
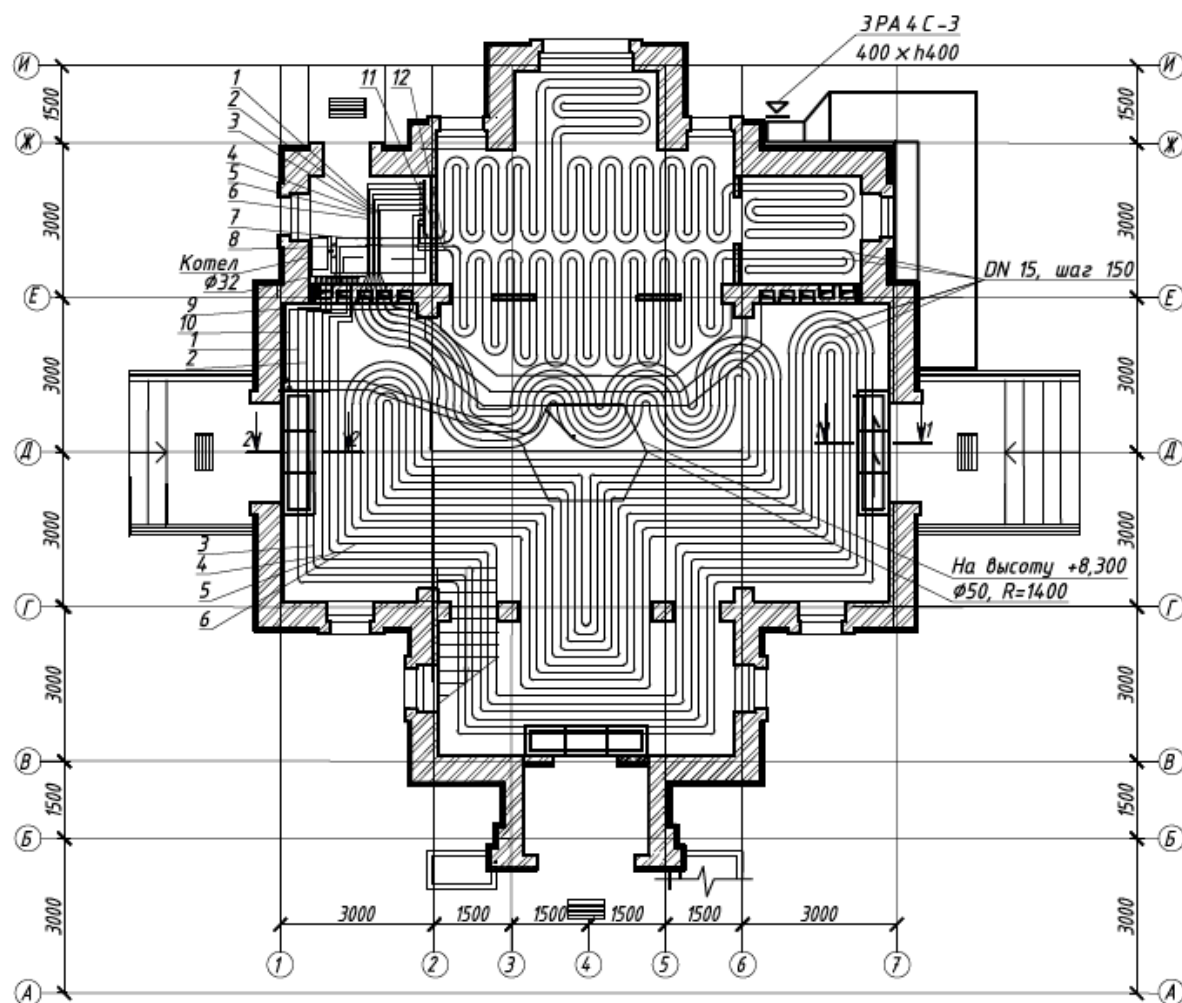


Рисунок 4.—Акснометрическая схема горизонтальной однотрубной системы отопления с отдельной веткой для отопления второго яруса в помещении молебного зала для здания собора (г. Полоцк)



**Рисунок 5. – Схема энергоэффективной системы напольного отопления с электрическим водяным котлом работающем на низкопотенциальном теплоносителе с ВИЭ и система приточной вентиляции с коллектором солнечной энергии (КСЭ) размещённым вдоль восточной и южной наружных стен здания церкви**

Источник ВИЭ солнечный гелиоколлектор располагается над поверхностью земли на газоне у здания церкви. Параметры теплоносителя низкопотенциальные и являются энергоэффективными, так на подающей магистрали равны (+65°C), а на обратной соответственно (+25°C). Подогрев теплоносителя вода в котле осуществляется от плоского солнечного коллектора, который вырабатывает электрическую энергию, как и в гелиосистемах для системы отопления изображённой на рисунках 1-4. Можно использовать другие источники ВИЭ.

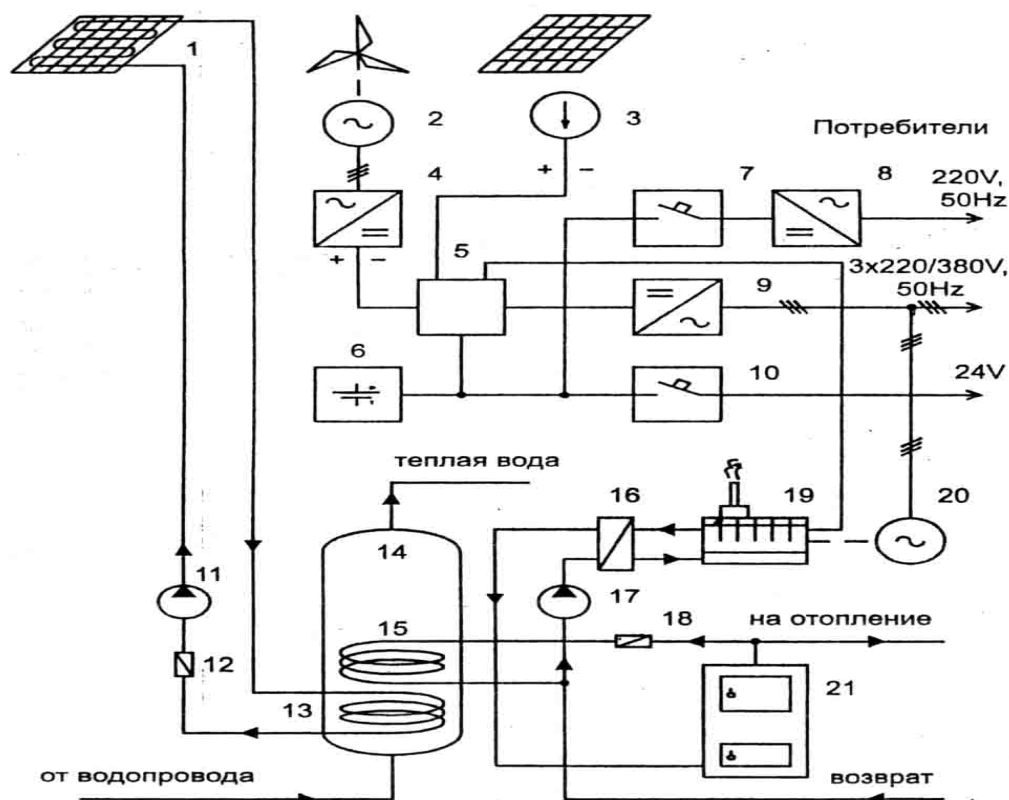
Низ отопительных приборов на нижнем ярусе расположен над уровнем чистого пола выше на 70 мм, под подоконником 55 мм, материал труб стояков и отопительного прибора на втором ярусе под окнами купола – гладкие трубы, выполнены из стальных водогазопроводных труб по ГОСТ 3262-75\*.

В помещении культового здания, где запроектирована система приточной вентиляции с коллектором солнечной энергии (КСЭ), который размещён вдоль восточной и южной наружных стен здания церкви устанавливается следующее

вентиляционное оборудование: вентилятор осевой, калорифер электрический, шумоглушитель.

Важно, чтобы в культовом здании был организован естественный воздухообмен с использованием дистанционно открывающихся электро-фрамуг в верхних оконных проёмах, аэрации, или запроектированы механические системы вытяжной и приточной вентиляции [1, 15, 16] для создания микроклимата в нём. Необходимо проектировать системы приточной вентиляции с теплоутилизаторами [1, 6, 15], а так же с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1,2,3,4, 5, 14].

Ранее в журнале «Энергоэффективность» была предложена эффективно работающая схема с применением ВИЭ для энергоэффективной системы отопления и горячего водоснабжения усадебного дома представленная на рисунке 6, которую можно использовать для любого гражданского здания.



1 – солнечный коллектор; 2 – синхронный генератор ветроустановки; 3 – фото-электрическая солнечная батарея; 4 – выпрямитель; 5 – блок коммутации и регулирования напряжения; 6 – аккумуляторная батарея; 7 – автоматическая защита инвертора; 8 – инвертор; 9 – трехфазный выпрямитель с трансформатором; 10 – автозащита нагрузки; 11 – циркуляционный насос; 12 – обратный клапан; 13 – теплообменник солнечного коллектора; 14 – бойлер-теплоаккумулятор; 15 – теплообменник бойлера; 16 – теплообменник когенератора; 17 – насос системы отопления; 18 – обратный клапан; 19 – дизельный двигатель когенератора; 20 – синхронный генератор; 21 – котел отопления

Рисунок 6. – Схема комбинированной системы использования возобновляемых источников энергии и котельно-печного топлива для системы отопления, вентиляции и электроснабжения фермерского хозяйства индивидуального жилого дома



Аналогичные системы КСЭ можно применять и для других гражданских зданий. Принята скорость движения воздуха в КСЭ 4 м/с. Кратность воздухообмена в здании церкви составляет не менее 30 м<sup>3</sup>/ч наружного воздуха на 1 человека [6], а одновременное нахождение в церкви 50 человек на площади помещения для молящихся прихожан установленным по нормам. Однако, в большие праздники в помещении церкви присутствует на службах примерно на 150 % больше людей, чем по нормам. Для использования возобновляемых источников энергии, применительно для климатических особенностей Республики Беларусь, рассматриваются и рекомендуются для применения различные системы теплоснабжения с конструкциями пассивных гелиоколлекторов [5, 13].

Заключение. Для создания микроклимата в гражданских зданиях с высотой этажа более 4 м, а также для сохранения интерьера в них, предлагаются схемы внутренних инженерных систем отопления с учетом действующих технических норм и сложных объёмно-планировочных решений зданий, а также с использованием энергоэффективных систем с ВИЭ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-4.02-74-2007 (02250) Системы отопления и вентиляции усадебных жилых домов. Правила проектирования. - Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008. – 36 с.
2. Государственная программа "Энергосбережение" на 2016 – 2020 годы. Постановление СМ РБ от 28.03.2016 г. № 248, в редакции пост. СМ РБ от 30.12.2016 №1128.
3. Закон Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии». Одобрено Советом Республики 10.12.2010, утвержд. Президентом Республики Беларусь от 27.12.2010 г. № 204-3 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 28.12.2010 г., №12).
4. Экономия и бережливость - главные факторы экономической безопасности государства. Директива Президента Республики Беларусь от 14.06.2007 г. № 3, в редакции Указа Президента Республики Беларусь № 26 от 26.01.2016 «О внесении изменений и дополнений в Директиву Президента Республики Беларусь» / Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г., № 146, 1/8668. / Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2016 г.
5. Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь: рекомендации по проектированию / В.В.Покотиллов, М.А.Рутковский. – Минск, 2017. – 60 с.
6. Внутренние санитарно-технические устройства: справочник проектировщика. Ч.1. Отопление. Под ред. И.Г.Староверова и Ю.И.Шиллера. – М.: Стройиздат,1990. - 344с.
7. ТКП 45-4.02-73-2007 (02250) Системы отопления из металлополимерных труб. Правила проектирования и монтажа. - Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008. – 28 с.
8. ТКП 45-4.01-72-2007 (02250) Системы холодного и горячего водоснабжения из металлополимерных труб. Правила проектирования и монтажа.– Мн.:Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008.-31 с.
9. П1-03 к СНБ 4.02.01-03 Проектирование и устройство систем отопления из полимерных труб. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2007. - 55 с.
- 10.ТКП 45-1.03-85-2007 (02250) Внутренние инженерные системы зданий и сооружений. Производство работ. Правила монтажа. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008. – 33 с.

11. Кочев, А.Г. Микроклимат православных храмов: монография / А.Г.Кочев // Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. - Н.Новгород: ННГАСУ, 2004. - 448 с.
12. СП 31–103–99. Здания, сооружения и комплексы православных храмов: дата введения 27.12.1999/ Госстрой Россия. – Изд. офиц.– М.: ГУП ЦПП, 2000. – 34 с.
13. Стандарт АВОК-2-2004. Храмы православные. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. – 12 с.
14. Василевич, Н.А. Особенности проектирования систем отопления культовых зданий для улучшения микроклимата / Н. А. Василевич, Д. А. Василевич // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета [Электронный ресурс]. – Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2018. – Вып. 24 (94). Прикладные науки. Строительство. – 1 электрон. опт. диск. - С. 138-141.
15. СНБ 4.02.01-03. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2005 г. – 62 с.
16. ТКП 45-3.02-83-2007 Культовые здания и сооружения. Здания, сооружения и комплексы православных храмов. Правила проектирования. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь (Минстройархитектуры Республики Беларусь), 2008 г. – 46с.
17. Пшенник, Ю.Е. Индивидуальное энергообеспечение крестьянского хозяйства // Ю.Е. Пшенник // Энергоэффективность. - 2002. - №12.-с.19-20.
18. Пивоварова, С.И. Энергоресурсосберегающие системы отопления и вентиляции культовых зданий с применением нетрадиционных источников энергии [Электронный ресурс] / С.И. Пивоварова, Д.А. Василевич, Н.А. Василевич // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электронный сборник статей международной научной конференции, посвящённой 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5-6 апр. 2018 г. / Полоцкого государственного университета; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - С. 409-417.
19. Vasilevich D. The use of solar energy for ventilation system of cult buildings / Vasilevich D., Vasilevich N., Pivovarova S. // EUROPEAN AND NATIONAL DIMENSION IN RESEARCH. TECHNOLOGY = ЕВРОПЕЙСКИЙ И НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОНТЕКСТЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ : Electronic collected materials of X Junior Researchers' Conference, Novopolotsk, May 10-11, 2018 / Polotsk State University ; ed. D. Lazouski [el. al.]. - Novopolotsk, 2018. - 1 CD-ROM. - P. 27-30.

УДК 111 625.7/8

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**А.В. Вихрев**

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: user1268@gmail.com

*В работе рассмотрены проблемы, связанные с различными подходами к оценке качественных и количественных источников загрязнений сточных вод на автомобильных дорогах. Обоснована эффективность применения аэрогелей в качестве сорбентов для очистки сточных вод на дорожных инженерных сооружениях.*

**Ключевые слова:** загрязнение, очистка, сточные воды, инженерные сооружения, дорожное строительство, сорбенты, аэрогели.

## MODERN METHODS OF WASTE WATER TREATMENT ON ENGINEERED CONSTRUCTIONS OF ROADS

**A. Vikhrev**

Vladimir State University (VIGU) them. A.G. and N.G. Stoletovs, Russian Federation  
e-mail: user1268@gmail.com

*The paper considers the problems associated with various approaches to assessing the qualitative and quantitative sources of wastewater pollution on roads. The effectiveness of the use of aerogels as sorbents for wastewater treatment on road engineering structures is substantiated.*

**Keywords:** pollution, treatment, waste water, engineering structures, road construction, sorbents, aerogels.

Количество автомобилей в России за последние десять лет увеличилось в два раза, и продолжает увеличиваться с каждым годом. Ежегодный экологический ущерб от транспортного комплекса составляет около 1,5% валового национального продукта, а доля экологического ущерба от автомобилей - 63% от общих показателей. Выбросы транспортных средств представляют собой значительную долю всех выбросов: более 80% всех свинцовых выбросов, более 40% всех выбросов оксидов азота и более 20% всех летучих органических составляющих.

Одним из наиболее опасных факторов является загрязнение объектов гидросферы сточными водами, содержащими большое количество вредных веществ, включая тяжелые металлы и их производные.

Анализ воздействия сточных вод с инженерных сооружений автомобильных дорог на гидросферу и принятие конструктивных мероприятий по уменьшению их негативного влияния на водные объекты, невозможны без объективной оценки источников загрязнений и химического состава таблицы 1,2.

Однако результаты исследований, приведенные в разных источниках [1,2,6,7] дают абсолютно разные показатели состава и концентрации загрязняющих примесей в стоках.

Таблица 1. – Средние концентрации загрязняющих веществ в стоках с автомобильных дорог [1]

№ п/п	Показатель	Средние концентрации, мг/л			
		США	Швеция, в зависимости от интенсивности движения, тыс.авт./сут		
			0-15	15-30	30-60
1	Взвешенные вещества (TSS)	99	75	100	125
2	БПК5 (BOD5)	8,0	-	-	-
3	ХПК (COD)	100	40	60	95
4	Азот нитратов и нитритов	0,28	-	-	-
5	Азот аммонийный (TKN)	2,0	-	-	-
6	Азот общий (Total N)	2,28	1,2	1,5	2,0
7	Растворенный фосфор (Dissolved P)	0,20	-	-	-
8	Общий фосфор, (Total P)	0,25	0,15	0,20	0,25
9	Ионы меди (DissolvedCu)	0,0109	0,035	0,045	0,060
10	Медь (TotalCu)	0,0347	-	-	-
11	Растворенный цинк (DissolvedZn)	0,051	0,100	0,150	0,250
12	Цинк (TotalZn)	0,2	-	-	-
13	Свинец (Pb)	-	0,02	0,025	0,030

Таблица 2. – Концентрации металлов, мышьяка и интегральные показатели загрязнения в ливневых стоках с автомобильных дорог [2]

№ п/п	Вещество	Концентрации (медианные значения), мг/л		Относительное содержание в растворенной форме, %
		Валовые	В растворенной форме	
1	Алюминий	1,9	0,019	10
2	Мышьяк	0,0014	0,001	71
3	Кадмий	0,00069	0,00025	36
4	Хром	0,0067	0,0021	31
5	Медь	0,029	0,011	38
6	Железо	2,3	0,05	2,1
7	Никель	0,0079	0,0025	31
8	Свинец	0,031	0,0016	5,1
9	Цинк	0,15	0,045	30
10	ХПК	100	-	-
11	Взвешенные вещества	76	-	-
12	Нефтепродукты	6	-	-

Данные зарубежных исследований отличаются от тех, которые приводятся в качестве рекомендаций в нашей стране.

Так, в рекомендациях ВНИИ «Водгео» от 2015 года [1] эти показатели составляют:

Для дождевого стока:

- по нефтепродуктам — 20 мг/л;
- по взвешенным веществам – 1000 мг/л.

Для талого стока:

- по нефтепродуктам — 25 мг/л;
- по взвешенным веществам – 3000 мг/л.

За рубежом проводились более детальное изучение загрязняющих веществ, учитывались не только нефтепродукты, но и вещества, которые медленнее деградируют в биосистемах, в первую очередь тяжелые металлы и их производные, оказывающие наибольший экологический ущерб [2]. Существуют исследования [6,7], которые позволяют оценить наличие металлов в стоках, их относительные содержания в растворенной форме.

Наиболее распространёнными методами очистки сточных вод от нефтепродуктов являются емкостные отстойники нефтеловушки и тонкослойные отстойники нефтеловушки, используемые для предварительной очистки сточных вод, разделения суспензий и эмульсий.

Сравнительные испытания очистки сточных вод с исходной концентрацией нефтепродуктов 100 мг/л в емкостном и тонкослойном отстойниках нефтеловушках равного объема показали, что концентрация на выходе из тонкослойного отстойника достигает 10-15 мг/л, а из нефтеловушки обычной конструкции - 45-50 мг/л., следовательно, применение тонкослойных отстойников взамен емкостных позволяет повысить эффективность очистки сточных вод от нефтепродуктов 55-85 % [3].

После нефтеловушек применяют физико-химический способ очистки. Основными способами физико-химической очистки сточных вод являются:

- коагуляция;
- флотация;
- сорбция.

Сорбционная очистка представляет собой процесс поглощения загрязняющих веществ из воды твердыми веществами – сорбентами.

Сорбция это один из наиболее эффективных методов глубокой очистки от растворенных органических веществ сточных вод.

Степень очистки на адсорбционном фильтре с активированным углем достигает 99,8%, что позволяет сбрасывать очищенную сточную воду в водоем рыбохозяйственного назначения [4].

Учитывая проведенные исследования, выявившие разнородность сведений о качественном и количественном составе загрязнений в стоках с инженерных сооружений, в качестве наиболее эффективных сорбентов предлагается использование наиболее эффективных сорбентов - аэрогелей, состоящих из углеродных нанотрубок, обладающих уникальными характеристиками – низкой плотностью, высокой пористостью, высокой удельной поверхностью и высокой электропроводностью.

В качестве сырья для изготовления аэрогелей используется бактериальная целлюлоза. Это дешевый, доступный и нетоксичный тип биомассы, который легко получить в промышленных масштабах, путем микробного брожения.

Бактериальная целлюлоза представляет собой запутанную сеть целлюлозных нановолокон. Материал получен путем резания целлюлозной массы на небольшие кусочки, и их лиофилизации, с последующим пиролизом при температуре 1300° С в атмосфере аргона. В итоге целлюлоза превращается в графитовый углерод. Плотность материала уменьшается, но его структура (трехмерная сеть нанотрубок) остается прежней.

Таким образом, был получен сверхлегкий и механически стабильный аэрогель. Благодаря своей гидрофобности, материал может эффективно адсорбировать органические растворители и масла из воды (в 106-312 раз больше своего веса). Также доказана способность аэрогеля поглощать ионы токсичных металлов, таких, как свинец и ртуть.

Поглощенные вещества могут быть удалены из материала путем перегонки или сжигания, после этого аэрогель можно использовать снова. Материал чрезвычайно устойчив к огню, непосредственный контакт с пламенем не влияет ни на его форму, ни на внутреннюю трехмерную структуру пор. Он может быть сжат до 10% от его первоначального объема, после снятия давления он вернется в исходную форму [5].

Заключение. Предварительные исследования, проведенные на очистных сооружениях мостовых переходов малых рек Владимирской области, позволяют сделать вывод о высокой эффективности водоочистки при использовании аэрогеля в качестве адсорбента. Применение аэрогеля позволяет ускорить процесс сорбционной очистки сточных вод, так же упрощается очистка фильтра от загрязняющих веществ. Когда нефтеемкость сорбента на основе аэрогеля снизится и его повторное использование в качестве адсорбента будет не целесообразным, аэрогель предлагается использовать в качестве теплоизоляционного материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты // «НИИ ВОДГЕО». – Москва, 2015. – 62 с.
2. Caltrans Storm Water Management Program / M. Kayhanian [and other] // Stormwater Vol. 2. – 2001. – 9 с.
3. Отстойники для очистки сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hydropark.ru/equipment/settler.htm>. – Дата доступа: 20.01.2018
4. ООО «КТР» Очистка сточных вод от нефтепродуктов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ktr-g.ru/poleznaya-informaciya.html?article=10>. – Дата доступа: 20.01.2018
5. ИННОКОМ: сайт сообщества тех, кому интересны наука, новые технологии и процесс их создания [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.innocom.ru/news/ajerogel-na-osnove-uglerodnykh-nanotrubok.html>. – Дата доступа: 22.01.2018
6. Ghafouri, M. Spatial Analysis of Urban Stormwater Quality / M. Ghafouri, C.E. Swain // Journal of Spatial Hydrology. – 2004. – Spring Vol. 5. – No. 1. – P. 33–46.
7. USEPA Draft Fact Sheet 4.22.2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.epa.gov> – Дата доступа: 15.01.2012.

УДК 628.356

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

**Б.Н. Борисов, В.Д. Двибородчин, А.Н. Стариков**

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых  
Российская Федерация

e-mail: boris\_borisov\_v\_v@mail.ru, alstars@mail.ru

*В статье освещаются вопросы, связанные с особенностью загрязнений сточных вод, образующихся на полигонах захоронения ТБО. Рассматривается возможность применения для очистки дренажных вод систему комплексных технологий, сочетающих традиционные методы обработки, а также методы с прогрессивной технологией обратного осмоса.*

**Ключевые слова:** охрана окружающей среды, фильтрационные воды, очистка, обратный осмос.

## PERSPECTIVE DIRECTIONS FOR CLEANING WATER DRAINAGE SOLID DOMESTIC WASTES

**B. Borisov, V. Dviborodchin, A. Starikov**

Vladimir state University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich  
Stoletov (VISU), Vladimir, Russian Federation

e-mail: boris\_borisov\_v\_v@mail.ru, alstars@mail.ru

*The article highlights the features of pollution of wastewater generated at landfills for solid household waste. For the treatment of drainage water, complex technologies are used that combine traditional treatment methods with advanced reverse osmosis technology.*

**Keywords:** environmental protection, filtration water, purification.

Одной из ключевых экологических проблем современности является очистка фильтрационных вод (ФВ) с полигонов твердых бытовых отходов (ТБО). Фильтрат с полигонов представляет собой резко пахнущую темную жидкость, которая содержит в своем составе тяжелые металлы (хром, цинк, свинец, кадмий, медь, железо, и т.д.), органические вещества (БПК, ХПК), и биогенные соединения (азот аммонийный, фосфаты). Загрязненный токсичными соединениями фильтрат, согласно результатам тестирования, не может быть сброшен на рельеф или в водоем культурно-бытового и рыбо-хозяйственного назначения.

В таблице 1 показаны данные по результатам химического анализа ФВ ТБО. Они дают представление о ширине диапазона загрязняющих веществ. Показана необходимость применения локальной системы очистки для достижения требуемых норм по ПДК. Локальная система очистки должна учитывать изменение состава химических веществ, на различных этапах жизненного цикла принимающего полигона (табл. 2).

Таблица 1. – Диапазон концентраций загрязняющих веществ ФВ и требования к концентрации загрязняющих веществ в очищенном фильтрате согласно точке сброса

№ пп	Показатель	Единица измерения	Исходный* фильтрат полигона ТБО	Городской** канализационный коллектор	Водоем рыбохозяйственного назначения
1	pH	-	4,5-7,5	6,5-8,5	6,5-8,5
2	БПК <sub>5</sub>	мг O <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>	4000-40000	250	3
3	ХПК	мг O/ дм <sup>3</sup>	6000-60000	500	30
4	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/ дм <sup>3</sup>	70-1750	500	100
5	Fe	мг/дм <sup>3</sup>	20-1700	3	0,05
6	Mn <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,3-65	0,1	0,01
7	Zn <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,1-120	0,1	0,01

\*Фильтрат, образующийся в период 1-3 года с момента депонирования ТБО.

\*\*концентрация загрязняющих веществ уточняется у организации водопроводного хозяйства, которая принимает данный сток.

Таблица 2. – Химический состав фильтрационных вод и методы их очистки

Фаза	Основные примеси и показатели качества ФВ	Способ очистки
ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ФАЗА И ФАЗА ГИДРОЛИЗА (1-3 года с момента депонирования ТБО)	Органические соединения: глюкоза, аминокислоты, глицерин, кислоты жирного ряда, пептиды, аммиак, летучие кислоты, ХПК $\geq 10000$ мг/л, БПК <sub>5</sub> $\geq 6000$ мг/л, БПК <sub>5</sub> /ХПК $\geq 0,6$	Коагуляция, последовательная анаэробная и аэробная очистка.
	Неорганические соединения: pH=4-6, содержание до 1000 мг/л, ионы тяжелых металлов- цинка, железа, хрома (до 80 мг/л)	Щелочная обработка с осаждением металлов в виде гидроксидов, фильтрация через известняк, мраморную крошку, шлак.
	Микробиологические примеси	Хлорирование, УФ-облучение, озонирование.
ФАЗА АЦЕТОГЕНЕЗА (От 3 до 10 лет с момента депонирования ТБО)	Органические соединения: летучие кислоты – уксусная, пропионовая, масляная и их производные, альдегиды и кетоны (C <sub>2</sub> – C <sub>6</sub> ) бензойная кислота и ее производные, спирты (C <sub>2</sub> – C <sub>6</sub> ), высокомолекулярные продукты кислотного гидролиза целлюлозы, ПАВ ХПК $\geq 6000$ мг/л, БПК <sub>5</sub> $\geq 3000$ мг/л, БПК <sub>5</sub> /ХПК $\geq 0,5$	Коагуляция с флокуляцией, последовательная анаэробная и аэробная очистка.
	Неорганические соединения: pH=5-6, ион аммония $\geq 300$ мг/л, содержание до 2000 мг/л, ионы тяжелых металлов - цинка, железа, хрома (до 70 мг/л). Ионы металлов в виде комплексов с органическими лигандами.	Электро- и гальванокоагуляция, ультрафильтрация, ионообменные и сорбционные методы очистки.



Окончание таблицы 2

<p>ФАЗА АКТИВНОГО МЕТАНОГЕНЕЗА (От 10 до 30 лет с момента депонирования ТБО)</p>	<p>Органические соединения: трудноокисляемые: гуминовая кислота, фенолы, крезолы, ксилолы, сквален, танин, полифенолы, алкилбензолы, бензол метилнафталин, ПАВ, тетрахлорэтилен, трихлорэтилен, хлорфенолы. Ингибирующие – дихлорметан, дихлорэтан четыреххлористый углерод, хлороформ. ХПК <math>\geq</math> 2000 мг/л, БПК<sub>5</sub> <math>\geq</math> 200мг/л, БПК<sub>5</sub>/ХПК <math>\geq</math> 0,1</p>	<p>Реагентная коагуляция, электро или гальвано коагуляция, озонирование с последующей биохимической очисткой, озонирование с последующей сорбционной очисткой, сорбция на углеродосодержащих материалах различной пористой структуры биосорбционные фильтры, биологические пруды.</p>
	<p>Неорганические соединения: рН=7,2-8, он аммония до 500 мг/л, хлориды до 5 мг/л, ионы тяжелых металлов до 2 -5 мг/л.</p>	<p>Ионный обмен с использованием природных ионитов, ультрафильтрация, обратный осмос.</p>
<p>ФАЗА СТАБИЛЬНОГО МЕТАНОГЕНЕЗА (до 100 лет с момента депонирования ТБО)</p>	<p>Органические соединения: гуминовые и фульвокислоты, ароматические кислоты и их производные, полифенолы, фенол, продукты разложения лигнина, производные фталевой кислоты, хлорфенолы. ХПК <math>\leq</math> 1000 мг/л, БПК<sub>5</sub> <math>\leq</math> 200мг/л, БПК<sub>5</sub>/ХПК <math>\geq</math> 0,02</p>	<p>Сорбционные и биосорбционные методы</p>
	<p>Неорганические соединения: рН=7,5-8,0 он аммония 100-200 мг/л, содержание-2000 мг/л, ионы тяжелых металлов менее 1мг/л.</p>	<p>Ионообменные методы с использованием дешевых материалов, отходов производств металлургического шлака, шлака ТЭЦ, керамзита, природных глин, диатомита..</p>

В результате функционирования на полигонах ТБО ФВ проявляются:

1. Исходная влажность отдельных видов отходов;
2. Атмосферные осадки, которые инфильтруются через структуру полигона и контактируют с поверхностью массива отходов (это основной источник по образованию фильтрата);
3. Хозяйственные - бытовые воды;
4. Влага, которая выделяющаяся из толщи отходов в результате биохимических процессов.

Химический состав и объем формируется под влиянием гидрологических, геологических, топографических, метеорологических, климатических факторов, и др.; морфологии и условий и логистики складирования отходов.

К особенностям очистки фильтрационных вод захоронения ТБО относятся:

- состав химических соединений представляет собой смесь органических и неорганических элементов с примесями. Изменения состава происходят на каждом этапе жизненного цикла функционирования полигона, как системы;

- предельное или завышенное содержание токсичных составляющих;
- присутствие в водной среде групп микроорганизмов различных параметров, в том числе и патогенных;
- принципиальное отличие от хозяйственно-бытовых и от промышленных сточных вод;
- зависимость состава фильтрационных вод и объема от размеров (площади) полигона, уровня атмосферных осадков, складываемых отходов, и др.

Сбор сточных вод на полигон должен соответствовать возможностям систем транспортировки и осуществляться с помощью системы дренажей. Данные сточные воды в литературе принято называть дренажными (ДВ). К основной системе дренажного водостока можно отнести горизонтальный дренаж.

Дренажная система реализует следующие функции:

1. осуществляет сбор избыточной влаги, обеспечивает складирование отходов и инфильтрацию осадков атмосферы. При этом создавая заслон при их неконтролируемом сбросе в поверхностные воды и подземные воды;
2. обеспечивает организованный отвод фильтрата полигона на очистные сооружения;
3. фильтрующий слой понижает давление (гидростатическое) на поверхность противодренажного слоя (экрана).

В зависимости от влажности отходов и природно-климатических условий имеющийся объем ДВ обычно не превышает 26-51 % от складываемых отходов (берётся по массе). Принципиальным и важным отличием ДВ от имеющихся типов сточных вод является факт неравномерности их аддитивности в течение всего года по причине нестабильности уровня выпадения атмосферных осадков вследствие сезонных колебаний. Максимальный объем фильтрата образуется во время паводков и в осенние дождевые периоды.

Собранные с помощью дрен и коллекторов ФВ поступают в сборный колодец или контрольно-регулирующий пруд, где накапливаются все виды сточных вод полигона, происходит усреднение состава стоков и равномерная подача их на очистные сооружения.

Методы очистки ДВ полигонов ТБО в зависимости от сроков эксплуатации представлены в таблице 2 [1]. Из представленных данных следует для очистки ДВ необходимо применять комбинированные методы.

Наиболее распространенными технологиями очистки ДВ являются биохимические (аэробные и анаэробные) и физико-химические (ионный обмен, коагуляция, флокуляция, электро- и гальванокоагуляция, сорбция и мембранные методы). Этим технологиям предшествует механическая очистка, при которой глинистые вещества, песок, неокисленные частицы органического происхождения, в том числе жир и т. п., оседают или всплывают, а затем удаляются. При этом снимаются и многие проблемы при решении последующих задач, снижая нагрузку на последующие стадии.

Для очистки высококонцентрированных ДВ (ХПК более 6000 мг/л кислорода), наиболее целесообразно использовать анаэробные методы биологической очистки. При этом органические примеси фильтрата разлагаются с образованием биогаза, который можно утилизировать. Формирование и анализ происходящих процессов генерации

фильтрата приводит к однозначному выводу о том, что методология анаэробных процессов однозначно есть самый эффективный способ в данной ситуации. В так называемых «старых» фильтрах имеет место значительного снижения ХПК. При этом необходимо отметить, что происходит процесс накопления специальных примесей, которые снижают процесс генерации биологического газа. При этом для катализации процессов биохимии внутри метантенков необходимо добавлять специальные добавки. Дополнительную очистку ДВ до требуемого качества осуществляется за счёт специализированных методов физико-химических адсорбционными, ионообменными, мембранными. При этом результатом является получение возможности сбрасывать очищенные стоки в открытый водоем.

Анализ данных о современном состоянии полигонов ТБО и технологий очистки ДВ полигонов ТБО в странах Западной Европы и США показал, что наибольшее распространение получили комбинированные методы на основе мембранных технологий и биомембранные методы, обеспечивающие глубокую степень очистки.

В отличие от традиционных методов очистки (физических, физико-химических, и т. д.), обратный осмос и ультрафильтрация – мембранные технологии обеспечивают одновременную очистку сточных вод от органических загрязнений.

При комбинировании мембранных методов с традиционными подходами эффект очистки достигается 95 % и выше, обеспечивая при этом компактность установки, надежность при изменении состава ДВ, простоту эксплуатации и контроля за качеством очистки ДВ.

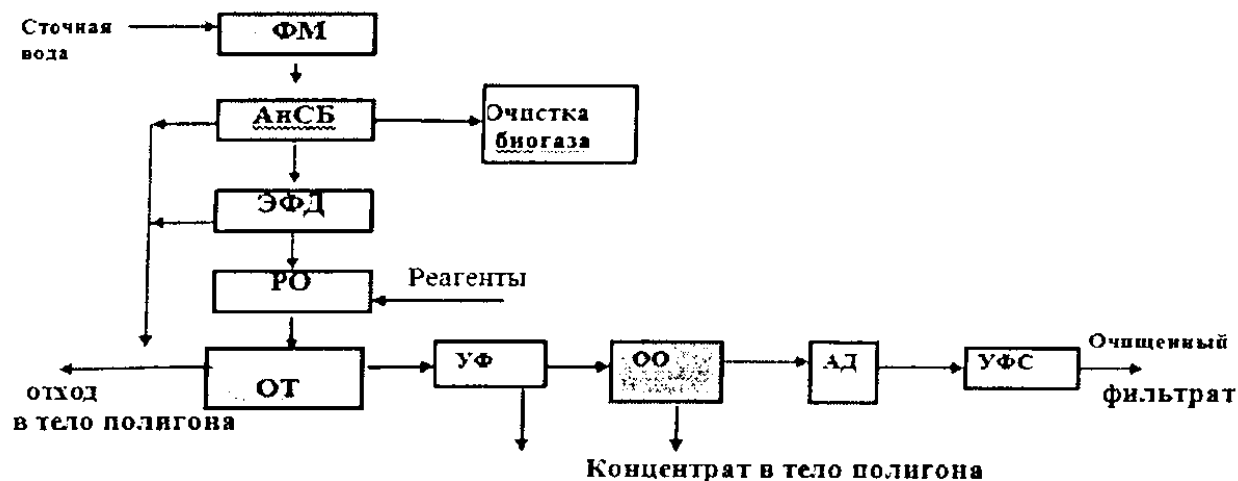
В России тоже выдуться работы по повышению эффективности работ в области очистки ДВ с полигонов ТБО.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал предложен метод по обработке воды лазерными лучами, извлечению загрязнений на биосорбционных фильтрах (Пермский ГТУ), а также по очистке ДВ биологическим методом в системе каскадных биофильтров и малопроточных прудов (ЗАО «Экопром», г. Самара).

В Московском Государственном Университете инженерной экологии разработана комплексная технология очистки и обезвреживания фильтрата полигонов ТБО. Очистка ДВ осуществляется по следующей технологической схеме: реагентная обработка известковым молоком до pH 11-12, отдувка аммиака, обработка осветленной воды коагулянт-ом и отстаивание в отстойнике с тонкослойными элементами, фильтрация на фильтрах с загрузкой из кварцевого песка с размером частиц 1-3 мм, электрокоагуляция фильтрата, обработка 30 % перекисью водорода для разложения органических растворенных веществ, адсорбция тяжелых металлов на природном сорбенте (трепел, размер частиц 200-300мкм). Условно чистый фильтрат рекомендовано собирать в пруд-накопитель, обезвоживание осадков производится в вакуум-фильтре. В настоящее время технология претерпела модернизацию исключены ряд дорогостоящих стадий очистки и для получения качественно очищенного фильтрата введена мембранная очистка – обратноосмотическое обессоливание. Установка в «усеченном» варианте с использованием глубокого обессоливания реализована на полигоне ТБО «Дмитровский» г. Москва.

Комбинированный способ очистки ДВ полигонов ТБО с использованием традиционных методов предварительной очистки и обратного осмоса предложен в ЗАО «БМТ» г. Владимир.

Технологическая схема комплексной очистки ДВ представлена на рис.1. Предложенная технология позволяет добиться очистки ДВ с полигонов ТБО в соответствии с требованиями ПДК для рыбохозяйственного назначения [2].



ФМ – фильтр механический, АнСБ – анаэробное сбраживание,  
 ЭФД – электрохимическое окисление, РО – реagenтная обработка, ОТ – отстаивание,  
 УФ – напорная ультрафильтрация с половолоконными мембранными элементами,  
 ОО – обратное осмотическое обессоливание, АД – доочистка сорбцией,  
 УФС – дезинфекция ультрафиолетовым стерилизатором

Рисунок 1. – Блок-схема установки очистки ФВ полигонов ТБО

В настоящее время данная технология реализована на ряде полигонов ТБО, среди г. Адлер Краснодарский край (производительность 170 м<sup>3</sup>/сут.) – 2014 г.

Из проведенного анализа существующих методов очистки ДВ с полигонов ТБО наиболее перспективными являются комплексные методы очистки, которые наравне с традиционными: механическими, биологическими, физико-химическими применяют с мембранные технологии, особенно обратный осмос.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вайсман, Я.И. Рекомендации по сбору, очистке и отведению сточных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман, Л.В.Рудакова, И.С. Глушанкова. – Москва: ФГУП Федеральный центр Благоустройства и обращению с отходами, 2003. – 48 с.
2. Поворов, А.А. Технология очистки дренажных полигонных вод / А.А Поваров, В.Ф. Павлова, Н.А. Шиненкова, О.Ю. Логунов // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 4. – С. 26 – 27.

УДК 628.16

## ИЗУЧЕНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЦЕОЛИТОВЫХ ЗАГРУЗОК ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПОЛОЦКОГО РЕГИОНА

*Е.С. Велюго<sup>1</sup>, В.Д. Ющенко<sup>2</sup>, Т.В.Козицин<sup>3</sup>*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь<sup>1,2</sup>

ЧУП «АкваПром», г. Новополоцк, Республика Беларусь<sup>3</sup>

e-mail: e.velugo@pdu.by<sup>1</sup>, yuvd46@mail.ru<sup>2</sup>, aquaprom@tut.by<sup>3</sup>

*Целью исследования явился выбор оптимальной фильтрующей загрузки на скорые фильтры обезжелезивания воды Полоцкого региона. Кварцевый песок не всегда справляется с поставленной задачей очистки воды сложного состава, поэтому необходимо было искать альтернативные варианты загрузки.*

*Ключевые слова:* обезжелезивание, подземные воды сложного состава, цеолиты, сорбенты, фильтрующие загрузки.

## ZEOLITE LOADINGS ARE USED TO REDUCE THE WATER LEVEL IN POLOTSK

*E. Velyugo<sup>1</sup>, V. Yushchenko<sup>2</sup>, T. Kozitsyn<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup>Polotsk State University, Novopolotsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>CHUP "Akvaprom", Novopolotsk, Republic of Belarus

e-mail: e.velugo@pdu.by<sup>1</sup>, yuvd46@mail.ru<sup>2</sup>, aquaprom@tut.by<sup>3</sup>

*The aim of the study was to select the optimal filter load for high-speed demonizing water filters of the Polotsk region. Quartz sand does not always come with the task of cleaning water of complex composition, so we had to look for alternative loading options.*

*Keywords:* degradation, groundwater of complex composition, zeolites, sorbents, filter loads.

**Введение.** В подземных водах Республики Беларусь, особенно в Витебской и Гомельской областях, содержатся повышенные концентрации не только железа, но и ряд других загрязняющих элементов, таких как марганец, аммонийный азот, сероводород, метан и т.д. [1,2], т. е. вода имеет сложный состав, и возникают трудности с ее обработкой.

До настоящего времени наиболее распространенным и доступным видом фильтрующего материала является кварцевый песок. В большинстве случаев кварцевый песок отвечает требованиям, предъявленным к фильтрующим материалам, и справляется с удалением железа в природной воде. Однако с водами сложного состава традиционные методы обработки с использованием кварцевого песка не всегда дают положительные результаты [3], особенно при малом и неравномерном водопотреблении, применяя установки напорного типа. Одним из способов интенсификации работы фильтровальных сооружений может являться улучшение структуры фильтрующей загрузки, что вызывает повышенный интерес к поиску и применению других фильтрующих материалов.

Последнее время большое распространение получили цеолиты, которые относятся к классу каркасных алюмосиликатов. Им принадлежит лидерство по совокупности полезных свойств таких, как сорбционные, селективно-ионообменные, и каталитические. Такие загрузки обладают повышенной грязеемкостью, эффективно извлекают из очищаемой жидкости взвешенные, коллоидные и растворенные загрязняющие вещества органического и неорганического происхождения, в том числе ионы аммония, тяжелые металлы и радионуклиды [3].

**Объекты исследований.** Изучение фильтрующих свойств цеолитовых загрузок проводились на напорных установках обезжелезивания воды малой производительности двух производственных объектах города Полоцка. Предприятия имеют скважины, которые расположены на их территории и пробурены на глубину 120 и 130м. Качество исходной воды приведено в таблице 1.

Таблица 1. – Показатели качества воды исходной воды

Показатели	Значения показателей качества воды		
	Объект А	Объект Б	По НТПА
Железо общее, мг/ дм <sup>3</sup>	2,28	2,4	0,3
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3,38	6,1	5
Водородный показатель, ед. рН	7,4	7,2	6,5-8,5
Жесткость общая, мг-экв/ дм <sup>3</sup>	5,4	5,2	7
Аммиак (по азоту), мг/ дм <sup>3</sup>	1,27	1,2	2
Марганец	0,055	-	0,1
Сероводород, мг/ дм <sup>3</sup>	-	слабый запах	0,5

Установка обезжелезивания воды на объекте А представляет собой два параллельно работающих фильтра диаметром 530 мм, №1 и 2, аэрационной колонны диаметром 450 мм, компрессора для подачи воздуха перед аэрационной колонной. Общий вид установки приведен на рисунке 1. Установка обезжелезивания работает около 8 часов в сутки. Производительность установки 9,0 м<sup>3</sup>/ч.



Рисунок 1. – Общий вид установки водоподготовки

Загрузка фильтров:

- фильтр №1 был загружен модифицированным цеолитом марки Ecoferox;
- фильтр №2 был загружен активированным цеолитом марки «ZEOL».

Высота загрузки обоих фильтров была принята 1м.

Ecoferox – автокаталитический алюмосиликатный фильтрующий материал, производящийся на основе натурального ископаемого цеолита, добываемого в Свердловской области. Фракция 0,7-1,5мм. Насыпная плотность 0,7кг/л. При эксплуатации Экоферокс не расходуется. Сорбция азотистых веществ мала.

Активированный цеолит марки «ZEOL» производится на основании природного сырья, добываемого в республике Татарстан. Для исследований был взят цеолит фракции 2-4 мм. Насыпная плотность 0,7 кг/л.

Оба фильтра работали в течение 10 дней в одинаковых условиях. На каждый фильтр подавался расход 4,5 м<sup>3</sup>/ч в течение 9 часов каждый день, затем фильтры промывались и отключались на 14,5 часов (режим работы определялся технологическими требованиями производства). Фактическая скорость фильтрации составила 21 м/ч. Фильтры промывались обратным током воды со скоростью 25 м/ч в течение 8 мин.

Анализы воды брались дважды в день: через 30 мин после включения фильтра в работу и непосредственно перед отключением фильтров на промывку.

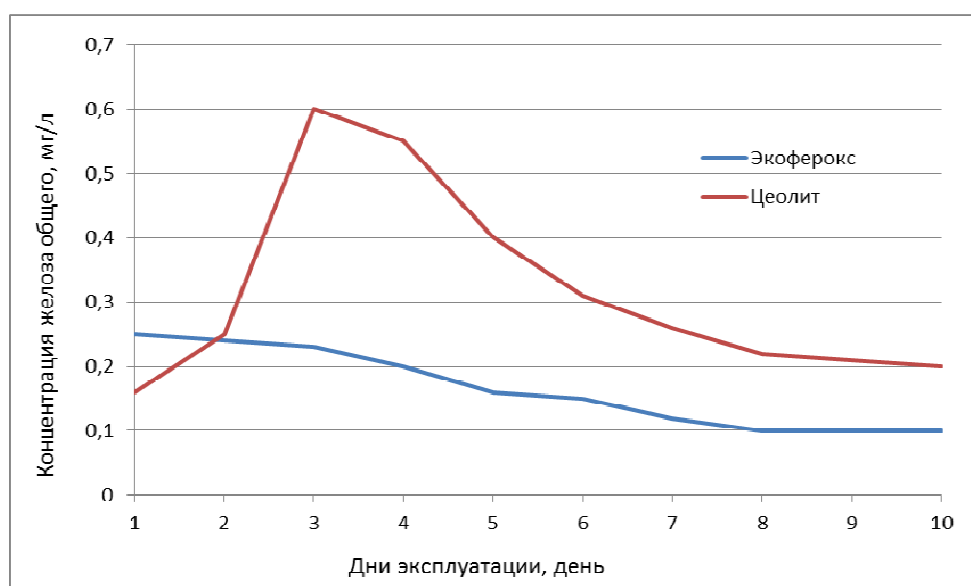


Рисунок 2. – Динамика изменения содержания железа в воде фильтров загруженных цеолитом Ecoferox и ZEOL

**Ecoferox.** Содержание железа в воде после фильтра, загруженного Ecoferox, с момента пуска фильтра в работу не превышала 0,3 мг/л, что соответствует требованиям СанПиН 10-124 РБ 99. С каждым днем эксплуатации фильтра содержание железа в фильтрате уменьшалось и через 8 дней стабилизировалось на уровне 0,1 мг/л. Т.е., загрузка Ecoferox обладает высокой каталитической способностью к соединениям двухвалентного железа и низкой к азотистым веществам. В процессе работы способность задерживать железо из природных вод увеличивается.

**ZEOL.** В первый день работы содержание железа в фильтрате составляло 0,16 мг/л. Однако в последующие дни содержание железа резко выросло до 0,5-0,6 мг/л, а затем начало плавно снижаться и через 10 дней стабилизировалось на уровне 0,2 мг/л.

Такое поведение цеолитовой загрузки марки ZEOL объясняется высокой сорбционной способностью прежде всего к органическим соединениям, обуславливающую окисляемость воды, и только затем к формам растворенного железа. На это же указывает то, что промывка загрузки обратным током воды не восстанавливала сорбционную способность загрузки, вследствие чего, она приобретает свойства инертной загрузки. Через несколько дней эксплуатации на поверхности цеолита сформировалась пленка из соединений железа, которая придала загрузке каталитические свойства (рисунок 2).



**Рисунок 2. – Внешний вид цеолита Zeol фракции 1-2мм после 4-х недель работы в фильтре обезжелезивания воды**

На станции обезжелезивания объекта Б установлены пять фильтром 1 м (рисунок 3). Ранее обработка воды из скважин предприятия осуществлялась путем насыщения кислородом воздуха и последующим фильтрованием через кварцевый песок фракции 1-2 мм. Остаточное содержание железа в отфильтрованной не удавалось снизить менее 0,7 мг/л. Замена кварцевого песка на гидроантрацит не позволило добиться более низкого содержания железа в фильтрате. При этом железо в фильтрате было представлено в двух валентной формой, что свидетельствует об отсутствии кислорода в фильтрате. Также оказывали влияние присутствующие в воде кроме железа другие вещества (возможно органического характера) с высоким потреблением кислорода при окислении.

Для испытания эффективности цеолита при обработке подземной воды с высокими концентрациями общего железа и органических веществ (перманганатная окисляемость  $P > 6 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ ) один из пяти фильтров станции обезжелезивания воды был загружен цеолитом марки Zeol фракции 1-2мм. Для всех фильтров, т.ч. и на испытуемый, принято фильтрование со скоростью 10 м /ч. Анализы воды производились на 2-й день и далее через каждые 7 дней (рисунок 4). Продолжительность фильтроцикла была приня-



та 48 часов, а интенсивность промывки - 12л/с на 1м<sup>2</sup>. Интенсивность промывки кварцевого песка 1-2 мм для конструкции установленных фильтров должна быть не менее 18 л/с на 1м<sup>2</sup>.



Рисунок 3. – Станция обезжелезивания воды на объекте №Б

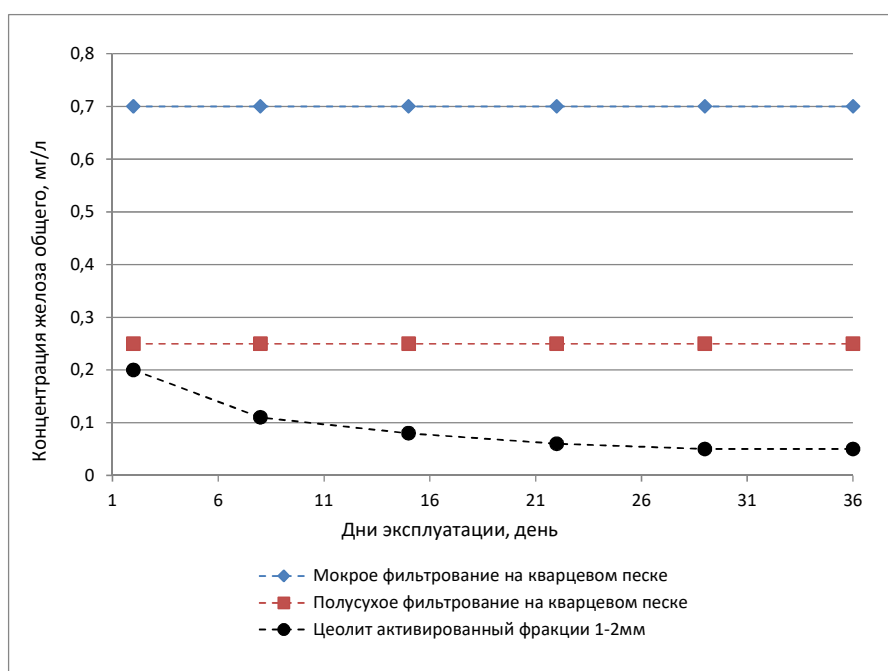


Рисунок 4. – Динамика изменения содержания железа в фильтрате фильтров станции обезжелезивания объекта №Б

Промышленные испытания цеолита в качестве загрузки фильтров обезжелезивания воды на объектах А и Б города Полоцка показали, что цеолит является достаточно эффективным материалом.

**Выводы:**

1. Цеолитовые загрузки марок Ecoferox и ZEOL могут рассматриваться в качестве загрузок для очистки воды станций обезжелезивания воды, работающих с длительными простоями в течение суток.
2. Цеолитовые загрузки могут поддерживать высокие скорости фильтрования (до 21м<sup>3</sup>/ч).
3. Цеолитовые загрузки отличаются примерно в два раза более низкой скоростью для обратной промывки фильтров, что сокращает потери воды и мощность промывных насосов.
4. Процесс удаления железа из природных вод на материалах на основе цеолитов для фильтров обезжелезивания воды осуществляется за счет каталитических процессов. Сорбционные процессы очистки воды могут наблюдаться непродолжительное время на стартовом этапе работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности совместного удаления железа и аммонийного азота из подземных водоисточников в сооружениях напорного типа / В.Д. Ющенко [и др.] // Развитие инженерно-технических методов природообустройства и водопользования : сб. науч. тр. – Калининград, 2018. – С. 98–108.
2. Николадзе, Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г.И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 160 с.
3. Фильтр обезжелезивания воды: полез. модель № 12086 / заявитель и патентообладатель Частное проектное унитарное предприятие «АкваПром»/Т.В. Козицин, В.Д. Ющенко, Е.С. Велюго. – Опубл. 02.01.2019.
4. Санитарные правила и нормы "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 10-124 РБ 99: введ. 01.01.2000 – Минск. Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 1999. – 122 с.

Секция VI

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО АРХИТЕКТУРНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 69:378.6

**КАДРЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АСПЕКТ**

*С.Н. Леонович, В.М. Трещачко, С.В. Харитончик*

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: leonovichsn@tut.by

*Проанализирован научно-исследовательский аспект программы подготовки кадров для строительной отрасли. Предложено расширить перечень специальностей при подготовке научных работников высшей квалификации в интересах строительной отрасли. Проанализирована динамика подготовки кадров высшей квалификации. Создание отраслевых лабораторий рассматривается как важный практический шаг в активизации подготовки кадров и повышения качества.*

***Ключевые слова:** научно-исследовательский аспект, отраслевая научно-исследовательская лаборатория, композитные материалы, наноматериалы.*

**PERSONNEL FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY: SCIENTIFIC AND RESEARCH ASPECT**

*S. Leonovich, V. Trepachko, S. Kharytonchyk*

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: leonovichsn@tut.by

*The scientific-research aspect of the training program for the construction industry is analyzed. It is proposed to expand the list of specialties in the preparation of higher qualification scientists in the interests of the construction industry. The dynamics of training of highly qualified personnel is analyzed. The establishment of industry laboratories is seen as an important practical step in enhancing training and quality improvement.*

***Keywords:** Scientific-research Aspect, branch scientific-research laboratory, composite materials, nanomaterials.*

**Расширение перечня специальностей в план-заказе подготовки научных работников высшей квалификации в интересах строительной отрасли.** В целях научного и инновационного развития строительной отрасли планируется создать фонд стабилизации, формируемый за счет отчислений в размере 0,4 процента от стоимости строительно-монтажных работ.

В интересах стройотрасли необходимо создать электронную базу данных по ценам на стройматериалы, конструкции, где производители и импортеры опубликуют свои цены.

В рамках цифровой трансформации создается государственный строительный портал, на котором участники отрасли будут взаимодействовать в электронном виде.

Особое значение придается внедрению технологий информационного моделирования; интегрированных информационных систем для управления ресурсами предприятий; электронного фонда проектной документации; банка данных объектов-аналогов.

Помимо предлагаемых Минстройархитектуры специальностей (Строительные конструкции, здания и сооружения, Основания и фундаменты, подземные сооружения, Строительные материалы и изделия, экономические науки) предлагается осуществлять подготовку научных работников высшей квалификации по следующим специальностям (таблица 1)

Таблица 1. - Перечень специальностей по подготовке кадров высшей квалификации

Шифр	Отрасль науки, специальность
01.02.04	Механика деформируемого твердого тела
01.02.05	Механика жидкости, газа и плазмы
01.04.14	Теплофизика и теоретическая теплотехника
05.02.05	Роботы, мехатроника и робототехнические системы
05.02.10	Сварка, родственные процессы и технологии
05.02.23	Стандартизация и управление качеством продукции
05.05.04	Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины
05.09.03	Электротехнические комплексы и системы
05.11.01	Приборы и методы измерения
05.11.15	Метрология и метрологическое обеспечение
05.13.01	Системный анализ, управление и обработка информации
05.13.06	Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
05.13.12	Системы автоматизации проектирования
05.16.09	Материаловедение
05.22.10	Эксплуатация автомобильного транспорта
05.23.03	Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение
05.23.04	Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов
05.23.07	Гидротехническое и мелиоративное строительство
05.23.08	Технология и организация строительства
05.23.11	Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей
05.23.16	Гидравлика и инженерная гидрология
05.23.17	Строительная механика
05.23.23	Архитектура зданий и сооружений, городских и сельских поселений, межселенных территорий

Динамика подготовки кадров высшей квалификации через аспирантуру БНТУ представлена на рисунке 1.

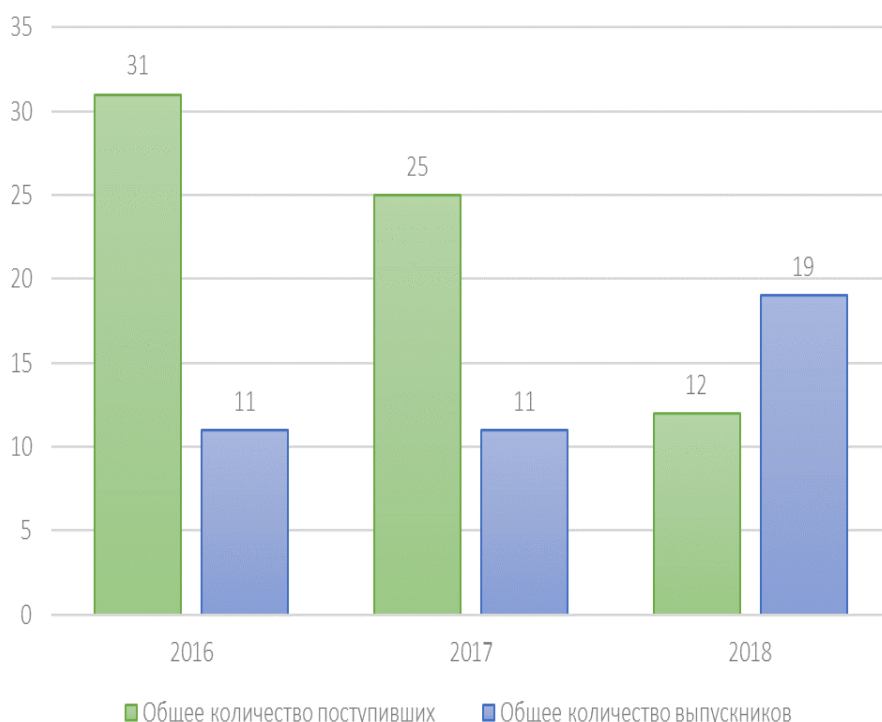


Рисунок 1. – Информация о подготовке кадров для строительной отрасли. Белорусский национальный технический университет. Аспирантура

**Динамика подготовки кадров высшей квалификации.** Проблема подготовки кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре является особенно острой. Это жизненно важно для развития кадрового потенциала учреждений высшего образования и научно-исследовательских институтов. Сегодня, например, в БНТУ работает 24 доктора наук в направлении строительства и архитектуры и 149 кандидатов наук. При этом средний возраст докторов наук в области архитектуры и строительства в Республике Беларусь составляет 71,9 лет, а кандидатов – 56,8 лет.

На рис. 2 показано суммарное количество кандидатских и докторских диссертаций в области строительства и архитектуры, ежегодно защищенных в период с 2007 по 2016г. (7/7, 14/12, 13/12, 4/4, 7/6, 15/12, 8/8, 17/13, 8/8, 6/40), где в знаменателе утверждённые ВАК. Докторская защита происходила в среднем 1 раз в 4 года.

В целом, в области технических наук за тот же анализируемый период ВАК утвердил следующее количество диссертаций: 82/12, 108/15, 106/8, 111/7, 93/10, 87/9, 94/7, 103/9, 88/10, 62/7 (числитель – кандидатские, знаменатель – докторские) (рис. 3).

Абсолютно очевидно, что для поддержания существующего количества специалистов с учётом среднего возраста требуется не менее 28 защит кандидатских диссертаций в год.

Следует учесть, что на сегодняшний день всё чётко структурировано: защите предшествует обязательная магистратура и аспирантура. Поэтому если специалист не обучался в магистратуре, то он не может поступить в аспирантуру. Не получила должного развития система соискательства, когда активные образованные люди приходили со своими идеями прямо с производства, с отраслевых конструкторских бюро.

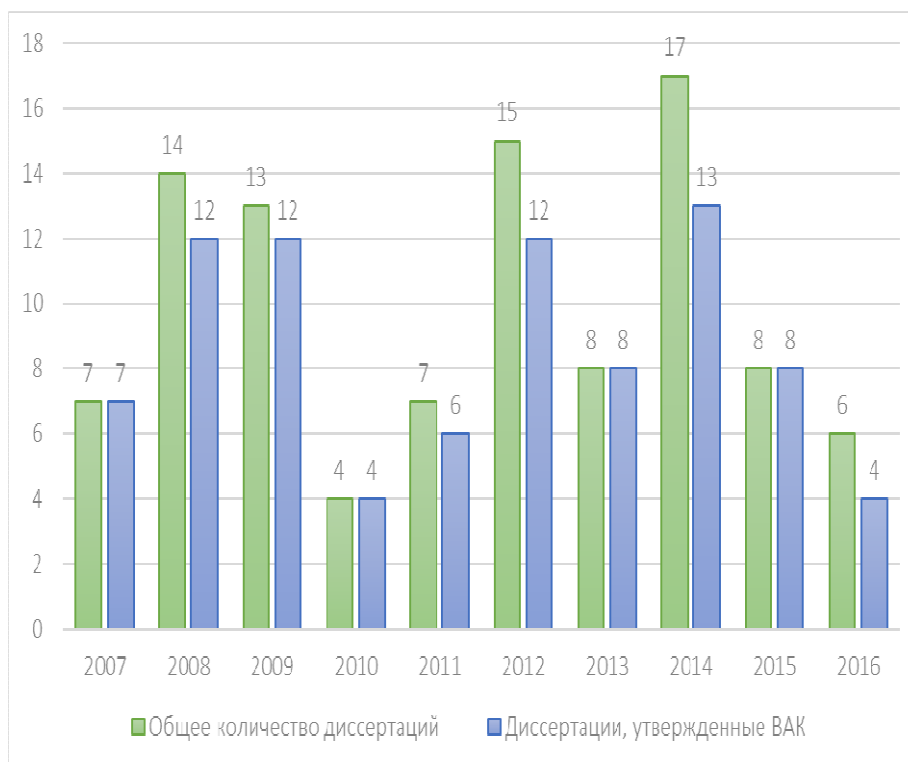


Рисунок 2. – Защищенные диссертационные работы в Республике Беларусь в области строительства и архитектуры (кандидатские и докторские диссертации)

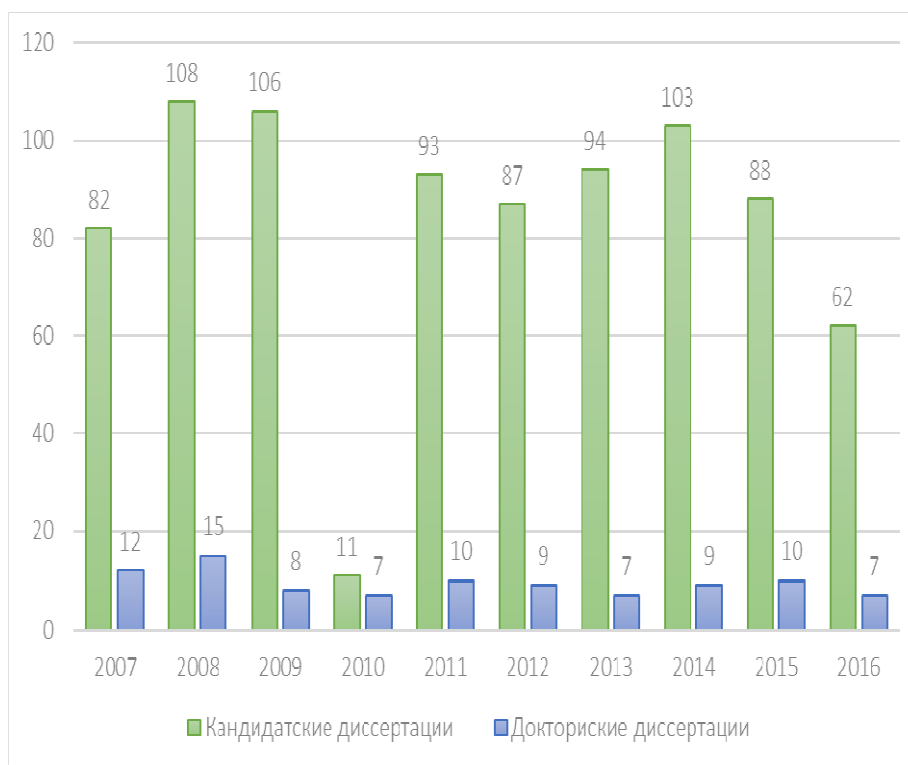


Рисунок 3. – Диссертации в области технических наук, утвержденные ВАК

Совместно с министерством архитектуры и строительства и Министерством образования РБ сформирован прогноз потребности подведомственных организаций в научных кадрах высшей квалификации на период 2018-2025 годы. Выполненный БНТУ анализ качественного и количественного состава научных работников, видов деятельности строительной отрасли и тенденций ее развития показывает, что потребность в кадрах количественно возрастает и становится разнообразнее по числу специальностей. Для устойчивого и успешного функционирования отрасли за указанный период необходимо подготовить не менее 17 докторов и 63 кандидатов наук по 23 специальностям. Данный прогноз охватывает потребность всей страны. С учетом изложенного одним из актуальных мероприятий является совершенствование системы прогнозирования кадровой потребности строительной отрасли.

Предлагается сформировать потребность в кадрах высшей квалификации, исходя из годового количества не менее 28 защищённых кандидатских диссертаций в области строительства и архитектуры, следующим образом в разрезе специальностей: 05.23.18 "Архитектура" - 3; 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" - 5; 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" - 3; 05.23.08 "Технология и организация строительства" - 4 и остальные 13 человек по другим строительным специальностям (дорожно-мостовое, гидротехническое, энергетическое строительство, основания и фундаменты, строительная механика и т.д.) (рис. 4).

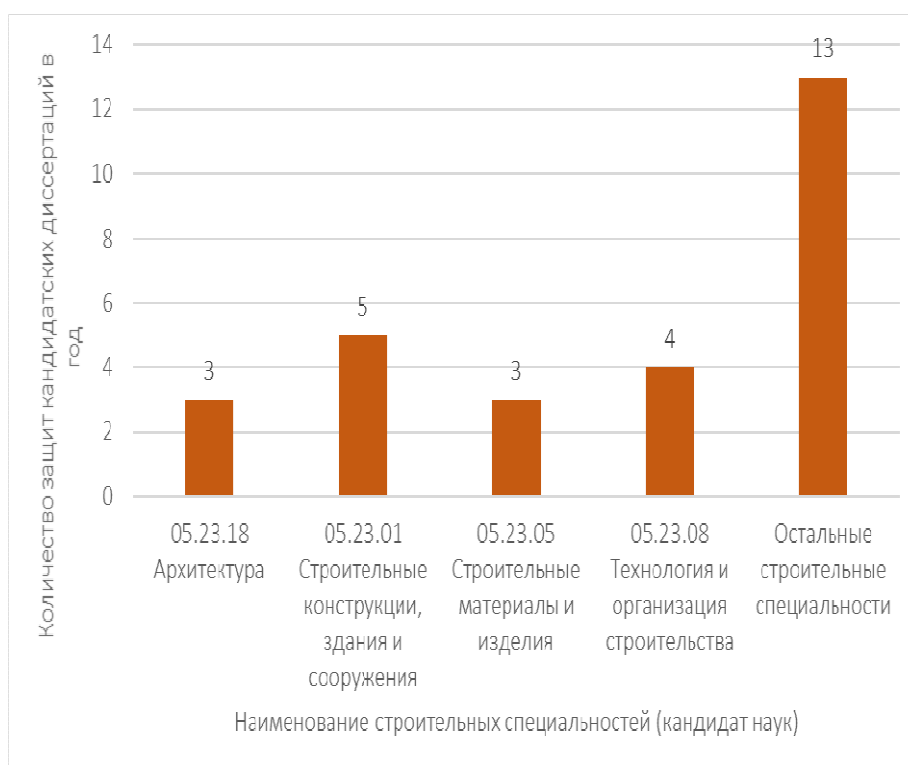


Рисунок 4. – Количество защит кандидатских диссертаций в год в разрезе специальностей

**Создание отраслевых лабораторий.** Существенно активизирует и повысит качество подготовки кадров создание на базе высших учебных заведений отраслевых лабораторий. Во-первых, это всегда актуальная тематика работ по заказам реального сектора экономики. Во-вторых, рождение новых материалов и технологий. В-третьих, более широкое вовлечение студентов, магистрантов и аспирантов в НИОКР. В-четвертых, существенно повышается вероятность организации новых экспортоориентированных инновационных производств с высокой добавленной стоимостью.

В рамках проекта Специализированной программы подготовки кадров строительной отрасли до 2025 года рабочей подгруппой предлагается создание на базе Строительного факультета БНТУ Отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Нанокompозиты и композиционные материалы в строительстве» для:

- расширения производства композиционных материалов с заданными функциональными свойствами;
- расширения выпуска нанокompозитов с принципиально новыми техническими характеристиками;
- формирования полимерных композиций для композитов различного назначения;
- получения композиционных материалов на основе использования отходов нефтехимии и нефтепереработки;
- разработки «интеллектуальных» материалов;
- активного применения фибробетона;
- расширения применения рубленого минерального волокна для армирования.

Актуальной проблемой является научное сопровождение расширения производства цемента на основе портландцементного клинкера в сочетании с высокоэффективными химическими модификаторами; внешних и внутренних отделочных материалов (клинкер, искусственный камень, «кирпич-хамелеон», «гибкий» керамогранит); композитных стеновых материалов и технологии возведения стен (блоки, панели, системы); композитных рулонных кровельных материалов.

Сегодня на передний план выходит разработка материалов и технологий экологического назначения (резиновая черепица, наливные полы, покрытия из резиновой крошки); «зеленых технологий».

В долгосрочной перспективе для производителей строительных материалов будет совершенствоваться цифровизация производства посредством использования аддитивных методов или 3D-печати.

**Ожидаемые результаты.** Основными ожидаемыми результатами реализации предлагаемых мероприятий являются:

- повышение гибкости и мобильности системы образования для развития кадрового потенциала в строительстве, для повышения эффективности использования трудовых ресурсов, производительности труда в строительстве;



— развитие современных конструктивных форм, эффективных строительных конструкций и инновационных технологий возведения объектов промышленного и гражданского назначения («зеленое» строительство, энергосберегающие здания и сооружения, строительство по принципу LEGO, «быстрое» строительство, мобильные экоддома, технологии возведения на основе 3D-печати и др.)

— освоение новых по составу и свойствам конструкционных, теплоизоляционных, отделочных и других материалов, получаемых с применением нанотехнологий и отвечающих современным тенденциям развития архитектурных форм, конструктивных решений и технологий возведения объектов промышленного и гражданского назначения;

— совершенствование средств и методов мониторинга, диагностики и испытаний строительных конструкций.

УДК 69:378.6

## КАДРЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ

*С.Н. Леонович, В.М. Трещачко, С.В. Харитончик*

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: leonovichsn@tut.by

*Специализированная программа подготовки кадров строительной отрасли до 2025 года («Кадры индустрии») разрабатывается во исполнение подпункта 7.2 пункта 7 протокола Межведомственной рабочей группы для подготовки Стратегии развития строительной отрасли Республики Беларусь на 2018-2025 годы. Основная цель Программы — обеспечение строительной отрасли квалифицированными кадрами, имеющими строительные специальности и способными решать поставленные задачи. Для реализации цели Программы решается задача прогнозирования кадровой потребности строительной отрасли, формирования заказа и обеспечения подготовки кадров для эффективного использования трудовых ресурсов в отрасли.*

***Ключевые слова:** строительная отрасль, квалифицированные кадры, формирование заказа, целевые индикаторы, BIM-менеджмент, филиалы кафедр.*

## PERSONNEL FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY: AN EDUCATIONAL ASPECT

*S. Leonovich, V. Trepachko, S. Kharytonchyk*

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

e-mail: leonovichsn@tut.by

*Specialized program of training of construction industry personnel till 2025 ("personnel of Industry") is developed in pursuance of subparagraph 7.2 of paragraph 7 of the Protocol of Interdepartmental Working group for preparation of strategy of development of Building Branch Republic of Belarus for 2018-2025 years. The main objective of the program is to provide the construction industry with qualified personnel with construction specialties and capable of solving the tasks. To realize the goal of the program the task of forecasting the personnel needs of the construction industry, order formation and providing training for efficient use of labor resources in the industry is solved.*

***Keywords:** Construction industry, qualified personnel, order formation, target indicators, BIM-management, branches of departments.*

**Целевые показатели и задачи инновационного развития строительной отрасли Республики Беларусь.** Одним из направлений развития отрасли является повышение привлекательности инвестиционно-строительной деятельности, для чего совершенствуется система госрегулирования: сокращение административных процедур, внедрение «одного окна». Минстройархитектуры выполняет функцию регулятора, а сама отрасль переходит на самостоятельную систему технического нормирования.

Предусматривается к концу 2020 года сократить срок очереди для нуждающихся многодетных семей до одного года. Средняя цена квадратного метра с господдержкой не должна превышать размер среднемесячной зарплаты.

Планируется наращивание объемов строительства арендного жилья.

Строительная отрасль, в качестве приоритета, нацелена на строительство многоквартирных жилых домов, социальных объектов и административных зданий только в энергоэффективном исполнении. Ориентиром при проектировании и строительстве является максимальное использование электрической энергии в жилом фонде для отопления, горячего водоснабжения и приготовления пищи.

Индивидуальное жилищное строительство будет развиваться путем комплексной застройки земельных участков одним застройщиком с использованием изделий крупнопанельного домостроения с размещением в жилых домах встроенных и пристроенных помещений общественного назначения для осуществления предпринимательской деятельности.

Целесообразно строить инженерную и транспортную инфраструктуру опережающими темпами за счет застройщиков и эксплуатирующих организаций.

Развитие городов-спутников будет реализовано на основе комплексной застройки территорий на принципах безопасности, комфортности и функциональности при максимальном озеленении.

Строительной отрасли Республики Беларусь для поддержания конкурентоспособности целесообразно придерживаться заданных целевых индикаторов. Мировая практика уже выработала подходы в их формировании и в качестве основных целевых индикаторов строительной отрасли считаем возможным предложить:

- снижение на 30% энергоемкости предприятий производства строительных материалов,
- на 30% снизить объём изъятия природных ресурсов для производства материалов,
- на 30% снизить стоимость жизненного цикла зданий,
- на 50% снизить срок строительства объектов капитального строительства,
- на 50% снизить строительный травматизм,
- на 40% снизить отходы строительной индустрии.

**Подготовка инженерных и научных кадров для строительной отрасли.** Предусматриваются меры по повышению эффективности строительных организаций, в том числе меры по сокращению просроченной задолженности.

Требуется оптимизация структуры организаций, в том числе путем объединения строительных, монтажных и проектных организаций, предприятий по производству строительных материалов, кроме того предусмотрено снижение затрат и энергоемкости, внедрение качественного планирования производства, оптимизация затрат в строительстве, повышение уровня оплаты труда работников организаций стройкомплекса.

Очень важно повысить ответственность проектировщиков за качество документации и усилить авторский и технический надзор, защищать внутренний рынок проектных и строительных услуг, рынок стройматериалов от недобросовестных участников.

Для достижения цели инновационного развития строительной отрасли Республики Беларусь необходимо в приоритетном порядке стимулировать развитие кадрового потенциала, решить задачи повышения уровня образования и квалификации кадров в строительстве.

Организация системы образования должна базироваться на многоуровневой системе непрерывной подготовки, переподготовки, повышения квалификации и стажировки руководителей и специалистов, отвечающей требованиям мобильности и эффективности.

Основой для этого будет оптимизация объёмов и структуры; содержание образования; ресурсное обеспечение.

Руководством страны поставлены задачи по модернизации и дальнейшему развитию строительной отрасли, повышению ее экспортного потенциала, созданию высокоэффективных строительных материалов, снижению энергоёмкости технологических процессов. Комплексное решение указанных и других задач рассматривается в проекте Стратегии развития строительной отрасли Республики Беларусь на 2018-2025 годы. В ней важная роль отводится кадровому обеспечению строительной отрасли и формированию ее кадровой политики в контексте стоящих задач.

Следует особое внимание акцентировать на совершенствовании подготовки кадров как на главном способе и инструменте достижения прогресса строительной отрасли Республики Беларусь. И здесь должны быть положены в основу актуальные проблемы строительной отрасли и решение вопросов социальной сферы, среди которых:

- внедрение новейших информационных технологий в проектировании и строительстве;
- развитие и внедрение энергосберегающих технологий в строительстве;
- внедрение и совершенствование экологических принципов в проектировании и строительстве;
- внедрение импортозамещающих материалов, конструкций и технологий в строительство, снижение объёмов изъятия природных ресурсов для производства этих материалов;
- совершенствование проектно-строительного процесса через активное внедрение инженерного сопровождения проектов в процессе строительства;
- внедрение более экономичных технологий, конструкций, материалов в процессе проектирования и строительства и в итоге снижение стоимости жизненного цикла зданий;
- формирование целостных архитектурно-градостроительных пространств населенных пунктов на основе принципов их устойчивого развития;
- снижение срока строительства объектов капитального строительства;
- снижение строительного травматизма;
- снижение отходов строительной индустрии;
- развитие конкурентоспособной системы образования, интегрированной в мировое образовательное пространство;
- совершенствование системы прогнозирования кадровой потребности строительной отрасли и механизма формирования заказа на подготовку рабочих, служащих и специалистов за счет средств республиканского и местных бюджетов;

– развитие многоуровневой системы непрерывной подготовки, переподготовки, повышения квалификации и стажировки руководителей и специалистов, включая государственных служащих, в том числе обучение в отечественных и международных образовательных центрах, научных школах и ведущих организациях.

Именно эти приоритеты должны определять направления совершенствования подготовки кадров в высшей школе, в т.ч. через введение новых курсов лекций и практических занятий, корректировку программ и учебных планов, формирование филиалов кафедр, материальное обеспечение учебного процесса и выполнение курсовых и дипломных проектов по реальным темам.

Подготовку кадров для строительства осуществляют следующие учреждения образования:

- высшее образование — 8 учреждений образования (БНТУ, БрГТУ, ПГУ, БелГУТ, БРУ, ГрГУ, БГСХА, ГГТУ) по 36 специальностям;
- среднее специальное образование — 40 учреждений образования по 22 специальностям;
- профессионально-техническое образование — 118 учреждений образования по 44 специальностям.

В процессе подготовки кадров на уровне высшего инженерного образования многое делается в направлении совершенствования и развития практических навыков будущими выпускниками. Вместе с тем требуется и дальнейшее усиление практической подготовки в условиях, когда осуществляется динамичное изменение строительных технологий. В качестве мер по дальнейшему развитию практикоориентированной подготовки студентов следует рассматривать:

- получение в период обучения разряда по одной из строительных специальностей;
- создание совместно с Министерством архитектуры и строительства филиалов кафедр строительного профиля в концерне «Минскстрой», «Минскметрострой», ОАО «Строительные тресты № 1, 4, 15, 7, 35; ОАО «Минскжелезобетон», ОАО «МАПИД» для организации производственной практики, курсового и дипломного проектирования, выработки тематики для студенческих научно-исследовательских работ.

В части усиления взаимодействия и практической подготовки студентов в вузах Беларуси существует успешная практика создания филиалов кафедр на производствах. В частности, БНТУ имеет 82 филиала, в том числе около 20 в сфере машиностроения. В строительном комплексе БНТУ имеет наибольшее среди всех УВО количество филиалов кафедр — 8;

– определение актуальной тематики курсовых и дипломных проектов, доведение количества дипломных проектов по реальным заявкам филиалов кафедр для нужд строительных организаций (Проекты производства работ, Технологические карты), например, до 20% от общего числа;

– увеличение за счет средств республиканского бюджета приема по заочной сокращенной форме получения образования для выпускников колледжей;

– повышение степени закрепленности кадров в строительной отрасли: не менее 70% работающих более 3 лет от общего количества выпускников;

Анализ данных по динамике подготовки кадров на первой ступени высшего образования по специальностям, обеспечивающим профессиональную подготовку кадров

для строительной отрасли (рис. 1) указывает на высокий и устойчивый спрос общества на обучение по данному направлению. Также следует констатировать стабильную потребность предприятий отрасли на выпускников, подлежащих распределению.

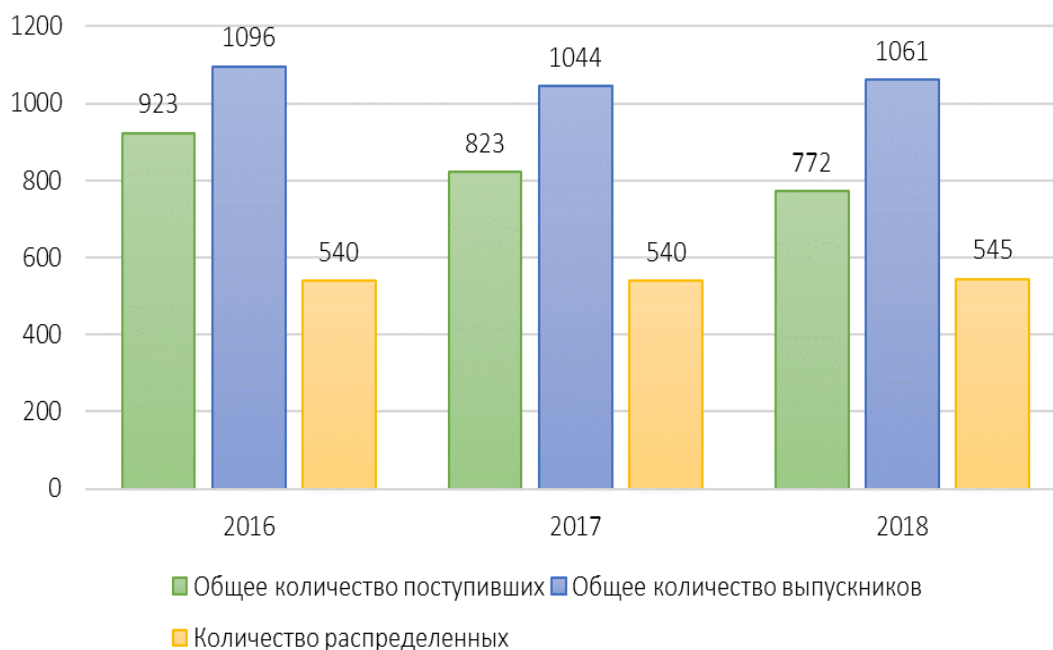


Рисунок 1. – Динамика подготовки кадров на I ступени высшего образования в БНТУ

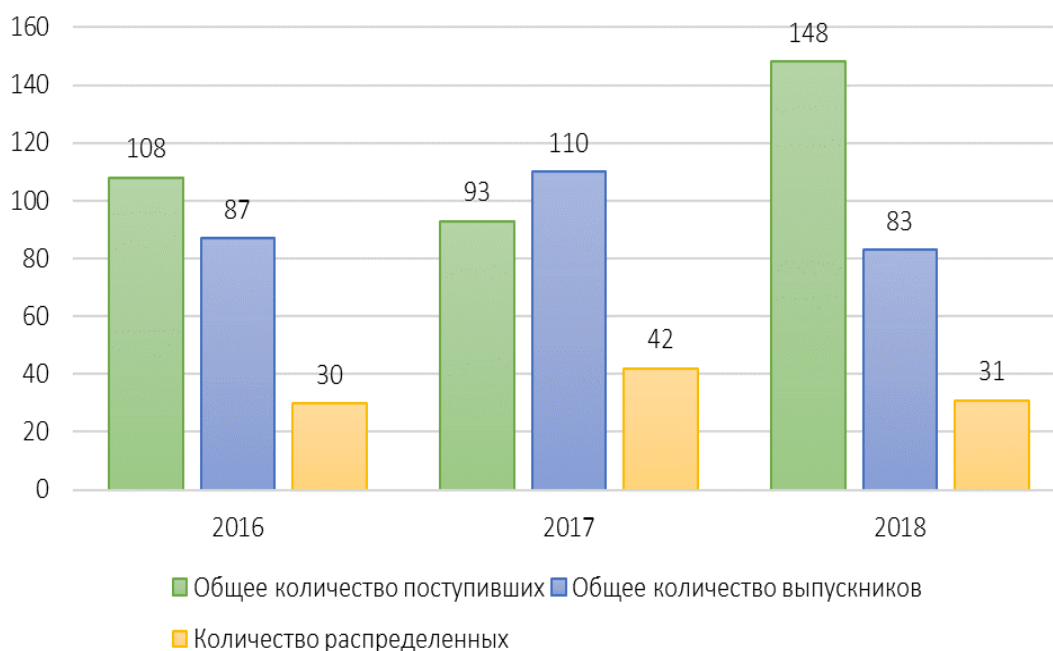


Рисунок 2. – Динамика подготовки кадров на II ступени высшего образования в БНТУ

Более углубленную подготовку выпускников УВО следует осуществлять в рамках магистратуры. Сравнение количества студентов, завершивших обучение в магистратуре

и с количеством поступивших (см. рис. 2) свидетельствует о том, что такая форма подготовки кадров находит поддержку на предприятиях отрасли, проектных и научных организациях. Это вполне объяснимо, поскольку обучение в магистратуре связано во многом индивидуальной работой с обучающимся. Вместе с тем, требуется изменение и дальнейшее совершенствование подготовки магистрантов.

На современном этапе для подготовки магистрантов будет целесообразным организация включенного образования в ведущих мировых технических университетах по профилю, а также повышение по заказу отрасли количества выпускников очной магистратуры, освоивших английский язык до уровня B2.

При этом для развития кадрового обеспечения строительной отрасли полагаем целесообразным обеспечить подготовку на второй ступени высшего образования осуществлять как по традиционным специальностям, так и по дополнительным актуальным специальностям: «Проектирование конструкций»; «BIM-менеджмент»; «Управление проектами»; «BIM-проектировщик»; «BIM-сметчик»; «Экономист по закупкам»; «Оценка недвижимости»; «Экспертиза недвижимости»; «Управление недвижимостью»; «Антикризисное управление в строительстве».

**Потребность в кадрах по строительным специальностям.** Выполнен расчёт-прогноз по сведениям Министерства образования примерной потребности в кадрах с высшим образованием (первая ступень) (рис. 3), в выпускниках магистратуры (рис. 4), в специалистах со средним специальным образованием (рис. 5), в рабочих кадрах по строительным специальностям (рис. 6).

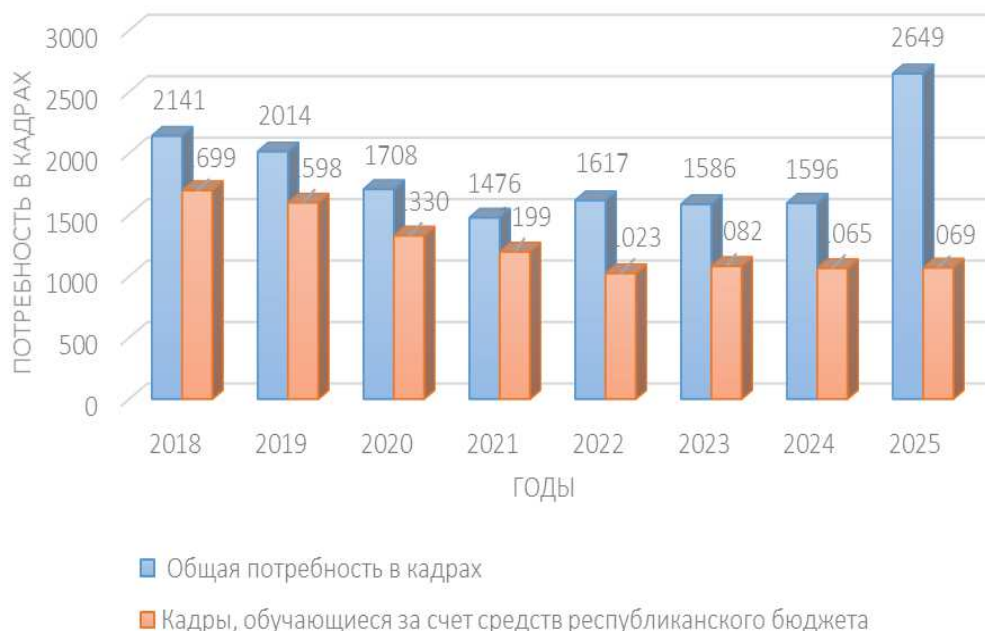


Рисунок 3. – Примерная потребность Республики Беларусь в кадрах по строительным специальностям на 2018-2025 годы. Высшее образование I ступень

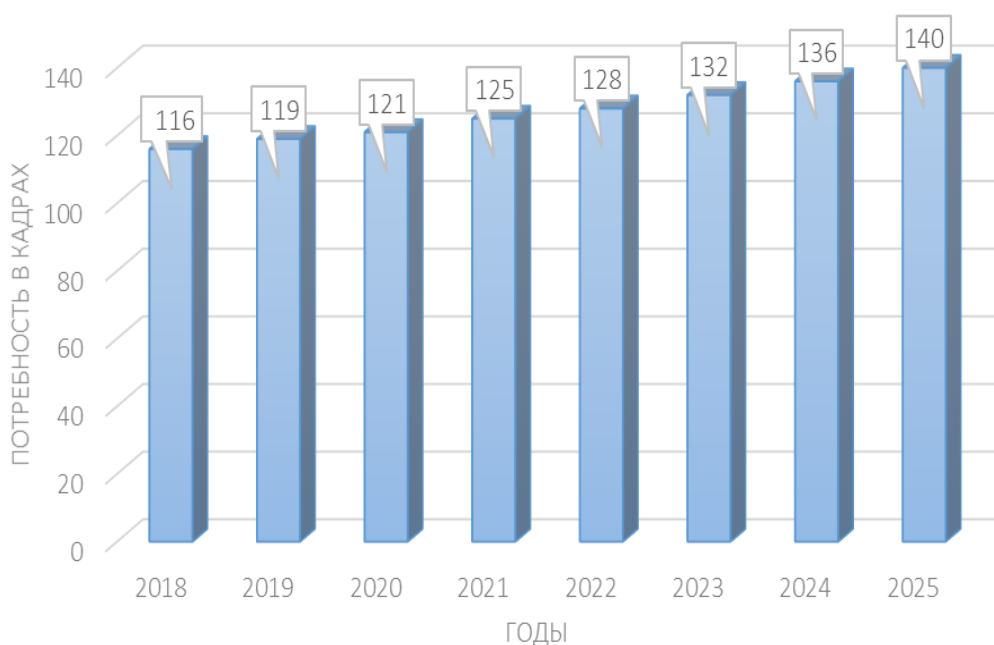


Рисунок 4. – Примерная потребность Республики Беларусь в кадрах по строительным специальностям на 2018-2025 годы.  
Высшее образование II ступень

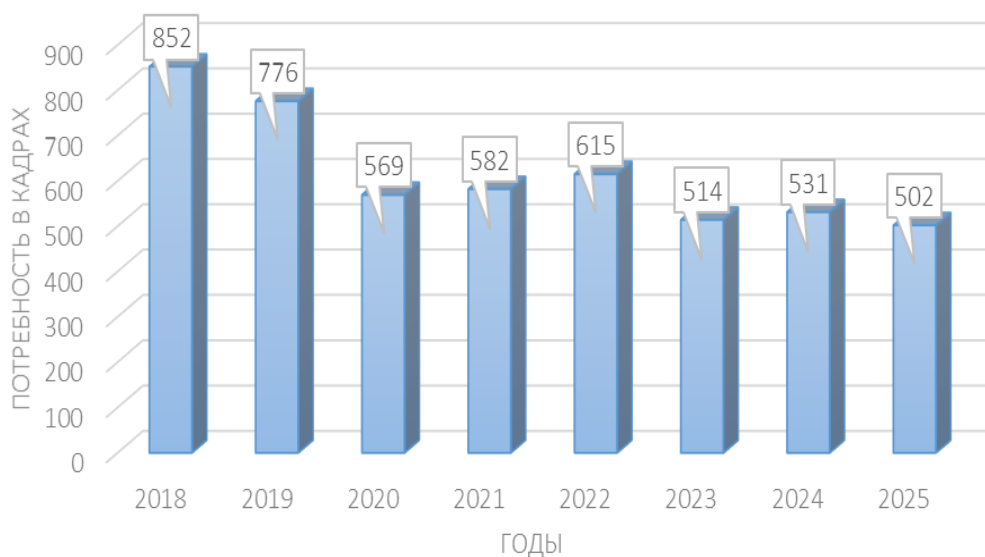
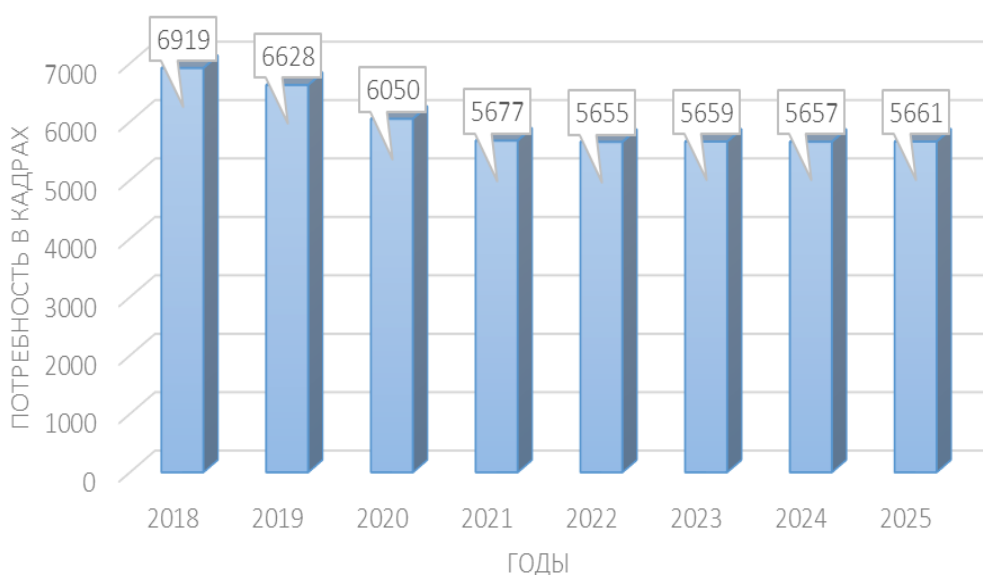


Рисунок 5. – Примерная потребность Республики Беларусь в кадрах по строительным специальностям на 2018-2025 годы.  
Среднее специальное образование





**Рисунок 6. – Примерная потребность Республики Беларусь в кадрах по строительным специальностям на 2018-2025 годы. Профессионально-техническое образование**

Планируется актуализировать структуру подготовки кадров, открыть новые приоритетные специальности в вузах, повысить качество обучения; сформировать механизм софинансирования организациями стройкомплекса учебных и ресурсных центров; подготовить план по совершенствованию производственной практики.

Проблемами, затрудняющими развитие строительного комплекса, являются:

- дефицит оборотных ресурсов подрядных организация, который приводит к вынужденным кредитным займам;
- недостаточный уровень оплаты труда в строительстве по сравнению с отдельными соседними странами и, как следствие, - отток трудовых кадров;
- отсутствие современных технологий проектирования и низкая ответственность проектных организаций, что негативно влияет на качество разрабатываемой проектной документации.

Решение таких чувствительных проблем в строительной отрасли, как цена строительства, качество, сроки, экспорт строительных услуг, требует подготовки высококвалифицированных кадров.

Необходимо внесение изменений в процесс подготовки кадров для строительной отрасли. В методологии учебного процесса требуется корректировка программ и учебных планов, введение новых курсов лекций и практических занятий, создание филиалов кафедр на производстве, усиление взаимодействия университетских кафедр с предприятиями.

Динамическое обновление строительных технологий требует усиления практической подготовки специалистов. Студента будет полезно в процессе обучения получить разряд по одной из строительных специальностей. Теоретических знаний недостаточно.

Оценена потребность в кадрах с высшим образованием по данным Министерства образования в разрезе специальностей: архитектура (рис. 7), производство строительных изделий и конструкций (рис. 8), промышленное и гражданское строительство (рис. 9), автомобильные дороги (рис. 10) и теплогазоснабжение (рис. 11).



**Рисунок 7. – Примерная потребность в кадрах с высшим образованием по строительным специальностям на 2018-2025 годы. Специальность: 1-69 01 01 Архитектура**



**Рисунок 8. – Примерная потребность в кадрах с высшим образованием по строительным специальностям на 2018-2025 годы. Специальность: 1-70 01 01 Производство строительных изделий и конструкций**



Рисунок 9. – Примерная потребность в кадрах с высшим образованием по строительным специальностям на 2018-2025 годы.

Специальность: 1-70 02 01 Промышленное и гражданское строительство



Рисунок 10. – Примерная потребность в кадрах с высшим образованием по строительным специальностям на 2018-2025 годы.

Специальность: 1-70 03 01 Автомобильные дороги

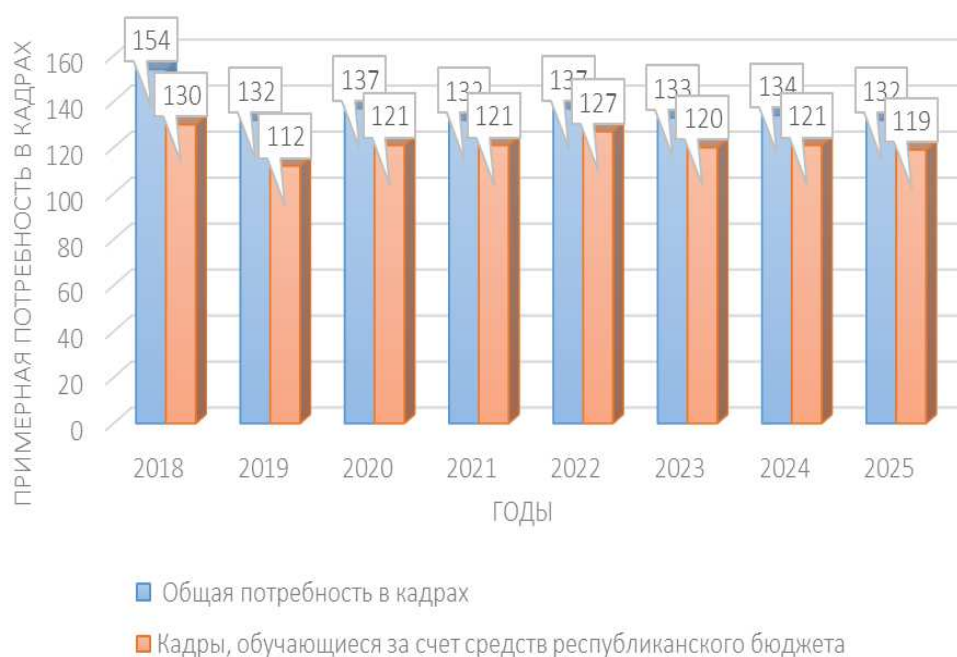


Рисунок 11. – Примерная потребность в кадрах с высшим образованием по строительным специальностям на 2018-2025 годы.

Специальность: 1-70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна

**Практические меры по развитию кадрового потенциала.** В качестве практических мер в ближайшее время предполагаются:

– Получение обучающимися разряда по одной из строительных специальностей (база колледжей, учебно-производственные комбинаты стройтрестов, конкурс WORLD SKILLS, лабораторные циклы в БНТУ) (таблица 1);

Таблица 1. Строительные базовые организации для освоения профессии

№	Специальность	Профессия, разряд	Организация
1	ПГС	Каменщик – 3р	ОАО «Минскремстрой»
		Облицовщик – плиточник – 3р	УП «Минскпромстрой»
		Маляр – 2р	ОАО «МАПИД»
		Штукатур – 3р	ОАО «Стройтрест №35»
		Плотник – 3р	ОАО «Стройтрест №1»
2	ВВиОВР	Монтажник наружных трубопроводов – 3 р	УП «Минскводоканал»
		Слесарь аварийно-восстановительных работ – 3 р	
		Машинист насосных установок – 3 р	
		Лаборант химико-бактериологического анализа – 3 р	
3	СТОЗ	Монтажник санитарно-технических систем и оборудования – 3 р	ОАО «Белсантехмонтаж»
4	ОЭЖД	Слесарь – сантехник 3- р	УП «Минское городское коммунальное хозяйство»

– Активное создание филиалов строительных факультетов (кафедр) в концерне «Минскстрой», «Минскметрострой», ОАО «Строительные тресты № 1, 4, 15, 7, 35; ОАО «Минскжелезобетон», ОАО «МАПИД» (производственная практика, курсовое и дипломное проектирование) и др., поскольку современное состояние этой проблемы требует принятия неотложных мер (рис. 12);

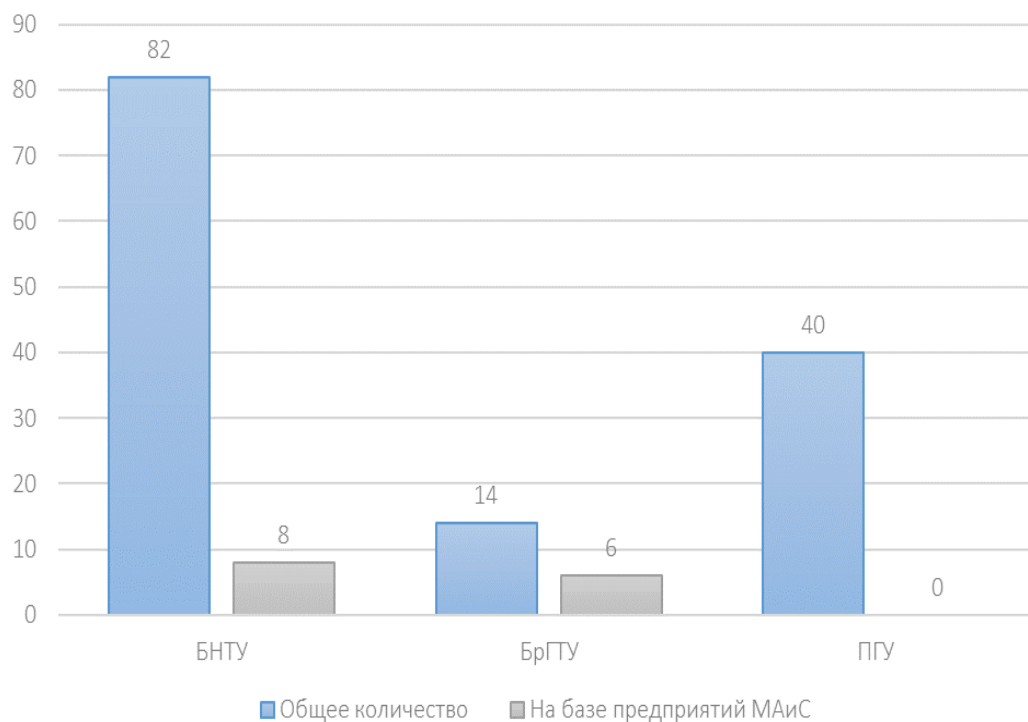


Рисунок 12. – Филиалы кафедр

– Довести количество дипломных проектов по реальным заявкам филиалов кафедр для нужд строительных организаций (Проекты производства работ, Технологические карты) до 20% от общего числа;

– Увеличение приема по ускоренной заочной форме получения образования (выпускники колледжей) из республиканского бюджета в 2,5 раза, поскольку эти специалисты уже работают в стройкомплексе РБ;

– Повышение степени закрепленности кадров в строительной отрасли: не менее 70% работающих более 3 лет от общего количества выпускников;

– Для магистрантов очной формы не менее 1 семестра включенного образования в европейских технических университетах по профилю;

– Более детально с учетом задач строительной отрасли по развитию экспорта рассмотреть вопрос о том, что не менее 5% выпускников очной магистратуры должны иметь два диплома (Белорусский и европейский);

– 50% выпускников очной магистратуры должны освоить английский язык до уровня B2;

– Мотивировать преподавание и изучение специальных строительных дисциплин на английском языке.

Для развития кадрового обеспечения строительной отрасли обеспечить:

- 1) подготовку на первой ступени образования по специальностям профессиональной подготовки кадров для строительной отрасли (рис. 1);
- 2) на переподготовку специалистов с высшим и средним образованием по смежным специальностям;
- 3) на подготовку на второй ступени высшего образования (в магистратуре) по строительным специальностям, где следует предусмотреть изучение следующих специальных дисциплин (таблица 2).

Таблица 2. – Специальные дисциплины магистратуры

№ п/п	Наименование специальных дисциплин
1	Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования в строительстве
2	Девелопмент в инвестиционно-строительной деятельности
3	Технологии эксплуатации жилищно-коммунального и дорожного хозяйства
4	Энергосбережение и энергоэффективность в зданиях, сооружениях, техносферная безопасность
5	Сервейвинг и системный анализ управления земельно-имущественным комплексом
6	Стоимостная и техническая экспертиза объектов недвижимости
7	Финансовый менеджмент на предприятиях инвестиционно-строительной сферы
8	Экономика инвестиционно-строительной сферы и недвижимости
9	Проектирование уникальных зданий и сооружений

**Цифровая экономика, BIM.** Технология информационного моделирования зданий (BIM – Building Information Modeling) предполагает в процессе проектирования сбор и комплексную обработку архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми взаимосвязями. В итоге здание рассматривается как единый объект. Среди основных преимуществ BIM-технологий – экономия времени и затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию.

Для активизации процесса перехода к цифровой экономике, развития BIM-технологий в строительстве БНТУ предлагает организовать **IT – центр в строительстве**. Его задача обеспечить повышение квалификации специалистов, работающих в строительстве, в сфере информационных технологий, сопровождение внедрения информационных технологий в строительстве (на базе Филиала Белорусского национального технического университета «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала»).

- Для расширения международного сотрудничества требуется:
- активизация участия белорусских ВУЗов в международных научно-технических программах сотрудничества, формирование международных технологических платформ в строительстве;
- заключение международных соглашений по стимулированию научно-технической и инновационной кооперации по приоритетным направлениям развития строительных технологий;

- поддержка зарубежных стажировок белорусских учёных, проведение в Беларуси международных научных конференций;
- обеспечение активизации участия Республики Беларусь в деятельности международных организаций по стандартизации: fib (Международная федерация конструкционного бетона), RILEM (Международная ассоциация испытательных институтов и лабораторий);
- разработка совместно с ведущими образовательными и научными организациями программ обучения и стажировок, (АЕСЕС — Международная ассоциация строительных факультетов).

В условиях цифровой трансформации экономики важно сформировать у молодых специалистов навыки работы с современным программным обеспечением. Студенты интересуются новыми информационными технологиями. Тем не менее, их использование без базовой подготовки невозможно.

Внедрение в учебный процесс инновационных технологий стало объективной закономерностью на строительном факультете. На протяжении многих лет организуется изучение технологии информационного моделирования зданий. В перспективе факультет планирует начать обучение по новым специализациям: «ВМ-менеджмент», «Управление проектами», «Экспертиза недвижимости и антикризисное управление в строительстве».

Строительные предприятия высоко оценивают педагогические инновации БНТУ. Студентов и преподавателей строительного факультета приглашают участвовать в крупных инфраструктурных проектах.

Целесообразно увеличить количество дипломных проектов, которые решают конкретные задачи строителей. Студентам следует планировать исследовательскую работу с учетом запросов предприятий. Дипломная работа будет полезна, если ее результаты внедрят в практику.

Более углубленная подготовка выпускников осуществляется в рамках магистратуры, аспирантуры, докторантуры и соискательства. Их индивидуальная работа может быть локализована на предприятиях отрасли, в проектных и научных организациях.

УДК 331.22

## ПРОБЛЕМНЫЕ АСПЕКТЫ МОЛОДЕЖНОГО РЫНКА ТРУДА В УКРАИНЕ

*Н.Е. Журавская<sup>1</sup>, А.И. Белова<sup>1</sup>, С.П.Коваль<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина<sup>2</sup>Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды, Украина

e-mail: zhuravska.nie@knuba.edu.ua

*Исследуется актуальный вопрос проблемные аспекты молодежного рынка труда в Украине. Наличие многих проблем на молодежном рынке труда требует углубления исследований в этом направлении и активизации усилий общества относительно поиска эффективных механизмов содействия экономической активности молодежи.*

**Ключевые слова:** молодежный рынок, эффективности образовательных систем, экономическая деятельность

## PROBLEM ASPECTS OF YOUTH LABOR MARKET IN UKRAINE

*N. Zhuravska<sup>1</sup>, A. Bielova<sup>1</sup>, S. Koval<sup>2</sup>*<sup>1</sup>Kiev National University of Construction and Architecture, Ukraine<sup>2</sup>Pereyaslav-Khmelnytsky State Pedagogical University named after Grigory Skovoroda, Ukraine

e-mail: zhuravska.nie@knuba.edu.ua

*The actual issue of optimizing innovative integrated technologies in the construction industry of Ukraine is being investigated. Highlighting the priority tasks that will allow the construction industry to reach a new level of development, taking into account the key factors for optimizing innovative technologies in the construction industry, can determine the dynamics of the development of a construction enterprise with the identification of priorities in that area of innovative development.*

**Keywords:** innovative integrated technologies, energy efficiency and balanced operation.

**Актуальность.** Молодежь является специфической социально-экономической категорией населения, поскольку генерирует в себе стратегический ресурс общества, который определяет масштабы и темпы социально-экономического и научно-технического прогресса, обеспечивает политическое, экономическое и социальное будущее страны. Основными факторами, влияющими на экономическую активность молодежи, выступают личный креативный потенциал и самооценка, мотивы и ценностные ориентации, степень профессионального самоопределения и компетентности, уровень и качество образования, место проживания и наличие трудового опыта, прочее. Поэтому, анализ социально-экономических проблем, ценностных ориентаций и побудительных мотивов к различным моделям поведения молодежи на рынке труда дает возможность не только изучить ситуацию в этом направлении, но и выработать механизмы и рычаги влияния, а также заложить фундамент для определения предпосылок повышения качества чело-



веческого капитала и конкурентоспособности рабочей силы как новейшего фактора экономического развития общества.

**Изложение основного материала.** Проведенным исследованием статистической информации на рынке труда Украины на протяжении 2015-2018 годов выявлено такие основные проблемы экономической активности молодежи [1]:

1. Снижение экономической активности молодежи в возрасте 15-29 лет.
2. Наличие гендерной асимметрии в экономической активности и занятости молодежи.
3. Превышение уровня молодежной безработицы относительно среднего по Украине.
4. Преобладание доли молодых лиц в неформальной занятости и др.

Наличие этих и других проблем на молодежном рынке труда требует углубления исследований в этом направлении и активизации усилий общества относительно поиска эффективных механизмов содействия экономической активности молодежи на рынке труда.

1. Развитие молодежного сегмента рынка труда на протяжении 2015-2018 годов характеризуется в целом снижением экономической активности молодежи в первую очередь за счет снижения численности экономически активного населения в возрасте 15-29 лет (табл. 1).

Таблица 1. – Экономическая активность молодежи на рынке труда Украины, тыс. чел.

Возрастные группы молодежи	2015	2016	2017	2018	Абсолютное изменение на протяжении 2015-2018, тыс. чел.	Относительное изменение на протяжении 2015-2018, %
15-24	1 615,7	1484,3	1384,9	1302,2	-313,5	80,6
25-29	2 563,8	2433,5	2308,0	2235,5	-328,3	87,2
30-34	2 609,6	2633,1	2718,7	2754,7	145,1	105,6
Всего	6 789,1	6550,9	6411,6	6292,4	-496,7	92,7

Так, в 2018 году по сравнению с 2015 годом численность экономически активной молодежи уменьшилась в целом на 496,7 тыс. чел. или на 7,3%, в том числе за счет возрастной группы 25-29 лет (на 328,3 тыс. чел. или 12,8%), а особенно – возрастной группы 15-24 года (на 313,5 тыс. чел. или 19,4%). То есть, наибольшее снижение экономической активности молодежи в относительном сравнении наблюдается в возрастной группе 15-24 года, а это в большинстве студенты и выпускники образовательных учреждений, которые не имеют опыта работы и не способны на равных условиях конкурировать на рынке труда.

Для этой же группы в 2018 году характерным является самый низкий уровень экономической активности молодежи (33,7%), самый низкий уровень занятости молодежи (27,6%), который снизился по сравнению с 2015 годом на 0,6 процентного пункта, а также самый высокий уровень безработицы населения (17,9% сравнительно со средним значением 8,8% по Украине). Положительным фактором следует отметить возрастание на протяжении 2015-2018 годов численности экономически активной молодежи в возрасте 30-34 года (на 145,1 тыс. чел. или 5,6%), повышение уровня занятости молоде-

жи этой возрастной группы на 1,6 процентного пункта, а также снижение уровня безработицы на 0,8 процентного пункта.

В целом выделяют два основных типа причин, влияющих на экономическую активность молодежи. Первый тип связан с объективным процессом воспроизведения трудовых ресурсов населения молодого возраста – это, в первую очередь, обучение или вынужденная экономическая неактивность. Второй тип – это добровольная экономическая неактивность молодежи, характеризующаяся ситуацией, когда молодые люди, которые могут заниматься трудовой деятельностью, не занимаются ей по разным субъективным причинам.

2. На рынке труда Украины среди молодежи четко прослеживается наличие гендерной асимметрии: уровень экономической молодежной активности и молодежной занятости во всех возрастных группах является более высоким у мужчин, чем у женщин (статистические данные отображены на рис. 1, 2).

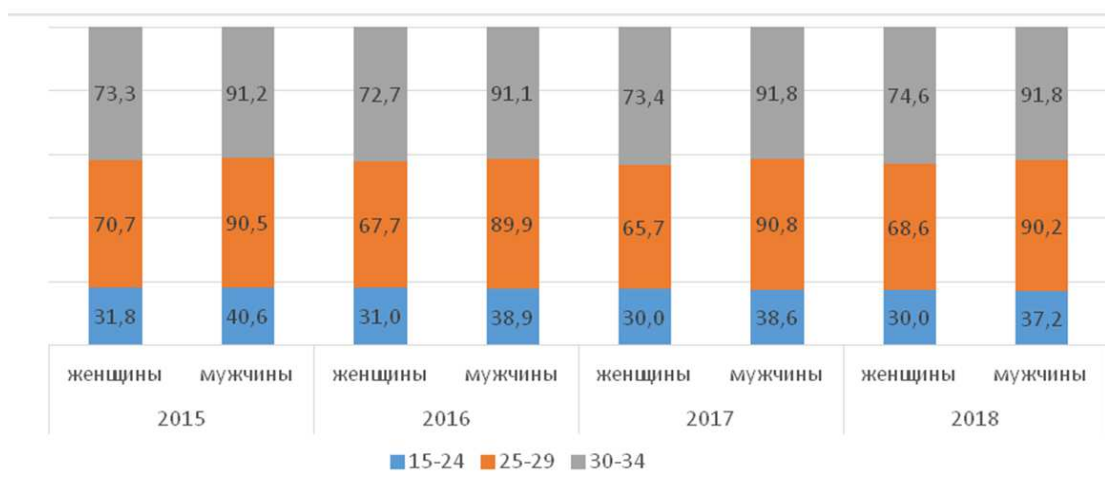


Рисунок 1. – Уровень экономической активности молодежи по гендерно-возрастному распределению в 2015-2018 годах, %

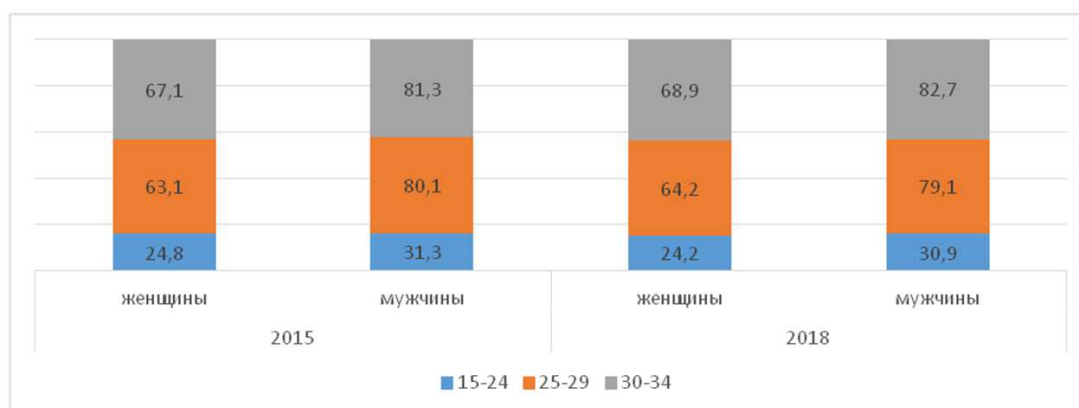


Рисунок 2. – Уровень занятости молодежи по гендерно-возрастному распределению в 2015 и 2018 годах, %

То есть, как видим, за последние годы происходит снижение показателей уровня экономической активности в возрастных группах 15-24 года и 25-29 лет как среди женщин (соответственно на 1,8 п.п. и 2,1 п.п.), так и среди мужчин (соответственно на 3,4 п.п. и 0,3 п.п.).

По данным Государственной службы статистики Украины, снижение показателей уровня занятости в 2018 году по сравнению с 2015 годом происходит в возрастной группе 15-24 года среди женщин (на 0,6 п.п.), а также возрастных группах 15-24 года и 25-29 лет среди мужчин (соответственно на 0,4 п.п. и 1,0 п.п.) [1].

3. Доля молодежи среди безработного населения Украины в 2018 году составляла 44,1% (696,9 тыс. чел. из 1578,6 тыс. чел.). Несмотря на это, положительным фактом является снижение этого показателя по сравнению с 2015 годом на 10,4 процентного пункта (табл. 2).

Таблица 2. – Доля безработной молодежи среди безработного населения Украины, %

Возрастные группы молодежи	2015	2016	2017	2018	2018 относительно 2015, п.п.
15-24	21,8	20,3	15,4	14,8	-7,0
25-34	32,7	31,0	31,1	29,3	-3,4
15-34	54,5	51,3	46,5	44,1	-10,4

Основным показателем, характеризующим долю безработной молодежи в общей численности экономично активного населения, является уровень молодежной безработицы (рис. 3).

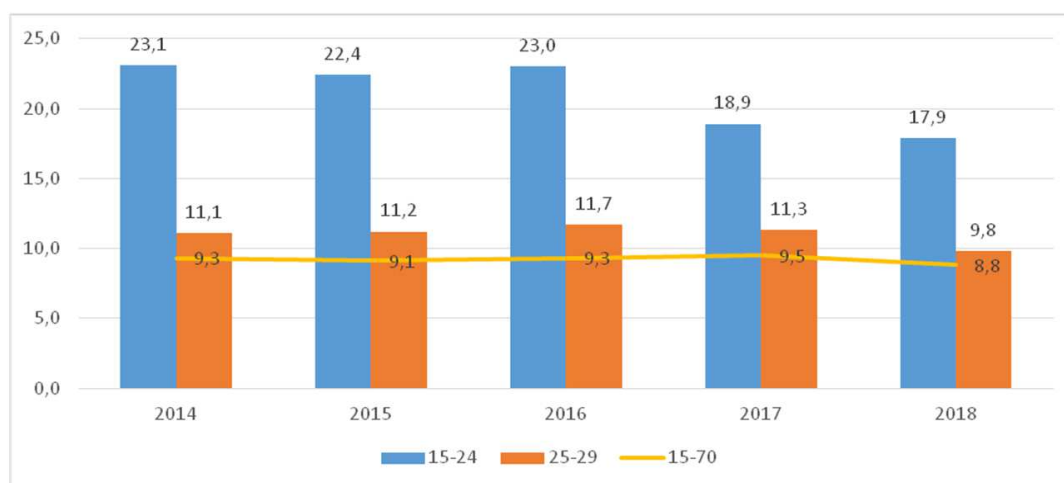


Рисунок 3. – Уровень безработицы, % относительно экономически активного населения соответствующей возрастной группы в 2015-2018 годах

Анализируя приведенные данные, следует отметить, что на протяжении 2014-2018 годов показатели молодежного уровня безработицы превышают средние значения уровня безработицы в возрасте 15-70 лет [1]. Высокий уровень безработицы молодежи

обусловлен, прежде всего тем, что значительная часть молодых людей не имеет соответствующих необходимых навыков и опыта работы. Исключение составляет только группа 30-34 года в 2016 году. Поэтому можно сделать вывод, что нарушение равновесия на рынке труда, вызванное, в частности, безработицей молодежи, - одна из наиболее актуальных проблем современной национальной экономики. При этом от безработицы страдает не только сама молодежь, но и экономика всей страны. Ведь неиспользованный трудовой потенциал молодежи имеет более сложные и глубокие социально-экономические последствия, чем безработица взрослого населения. С экономической точки зрения молодежная безработица влияет на сокращение объемов производства, снижение уровня жизни населения, усугубление неформальной занятости и другое. В социальном контексте безработица среди молодого населения ведет к распространению бедности как отдельных молодых людей, так и молодых семей, что, в свою очередь, влияет на рождаемость и обеспеченность детей.

4. Как правило, неформальная занятость присуща населению отдельных социально-экономических групп. Наибольшего распространения неформальная занятость в 2018 году получила среди молодежи в возрасте 15-24 года (32,3% в сравнении со средним значением 23,4% по группе 15-34 года, а также со средним 21,6% по группе 15-70 лет), (таблица 3).

Таблица 3. – Неформальная занятость населения Украины в 2018 году

Возрастные группы населения	Занятое население в возрасте 15-70 лет		
	всего	из него неформально занятое, тыс. чел.	неформально занятые, %
15-24 года	1 068,5	344,6	32,3
25-29 лет	2 016,9	451,9	22,4
30-34 года	2 510,1	515,5	20,5
15-34 года	5 595,5	1 312,0	23,4
15-70 лет	16 360,9	3 541,3	21,6

Основными причинами распространения неформальной занятости молодежи стали: низкие размеры официальных доходов, сравнительно высокие налоги на прибыль, низкий уровень жизни населения, что толкает на получение заработка любым способом, др. Последствия углубления неформальной занятости не могут быть однозначными. С одной стороны, это временное решение проблемы как для работодателей, так и для самих работников, сдерживание роста безработицы и социальной напряженности в обществе, но с другой – это недополучение государством налогов, что, в свою очередь, ведет к снижению социальных расходов и пр. При наличии в обороте официально неучтенных денежных потоков усложняется контроль за денежной массой и ее структурой, планирование денежной эмиссии и др. Для работников, занятых в неформальном секторе экономики, отсутствуют социальные гарантии (пенсионного обеспечения, помощи по временной нетрудоспособности, по безработице, др.), поскольку неформальная занятость не учитывается в страховой трудовой стаж работы. При этом, для занятости в неформальном секторе экономики характерны такие особенности: отсутствие факта офи-

циальной регистрации деятельности, а значит, - и отсутствие элементарной правовой или социальной защищенности со стороны государства, низкий уровень производительности труда, использование устаревших и вредных технологий производства, низкий уровень доходов работников, невозможность выхода на организованный рынок, отказ в кредитовании, преобладание самозанятости и др.

Анализ показателей самостоятельной занятости населения Украины в 2018 году засвидетельствовал, что этот сегмент национального рынка труда является довольно значимым в общей занятости населения (14,8% в общей занятости и 30,3% в сельской местности), (табл. 4).

Таблица 4. – Распределение занятого населения Украины по статусу занятости в 2018 году

	Занятое население в возрасте 15-70 лет		в том числе занятое в сельской местности	
	тыс. чел.	%	тыс. чел.	%
Работающие по найму	13 333,9	83,8	3 394,7	68,4
Работодатели	170,3	1,1	34,9	0,7
Самозанятые	2 361,2	14,8	1 503,0	30,3
Бесплатно работающие члены семей	44,0	0,3	31,5	0,6
Всего	15 909,4	100,0	4 964,1	100,0

Сектор самостоятельной занятости включает работодателей (лиц, которые работают на собственном предприятии и нанимают работников), самозанятых, которые заняты индивидуальной трудовой деятельностью без официального оформления, бесплатно работающих членов семьи и др. При этом деятельность субъектов самостоятельной занятости основывается на свободном проявлении инициативы, индивидуальных способностях, организованности, готовности работать в конкурентной рыночной среде не только с целью получения прибыли, но и обеспечения надлежащих условий жизнедеятельности.

Поэтому, самозанятость молодежи рассматривается как альтернативный способ заработка, который предусматривает выполнение самостоятельно инициированных работ за вознаграждение, создание собственного рабочего места приложения трудовых усилий, финансирование всех расходов за собственный счет, использование собственных или арендованных средств производства, самостоятельное распоряжение результатами трудовой деятельности, др.

**Выводы.** Таким образом, развитие молодежного сегмента рынка труда характеризуется снижением экономической активности молодежи в возрасте 15-29 лет, наличием гендерной асимметрии в экономической активности и занятости молодежи, превышением уровня молодежной безработицы по сравнению со средним по Украине, преобладанием доли молодых людей в неформальной занятости и др. С целью корректирования этих отрицательных тенденций необходимо, прежде всего:

1) совершенствовать механизмы государственного регулирования молодежного сегмента рынка труда, поскольку государственная политика борьбы с молодежной безработицей является недостаточно эффективной, и это подтверждается размытостью связей между образовательными учреждениями и рынком труда, недостаточностью развития социального партнерства, стимулирования работодателей, которые создают рабочие места для молодежи;

2) в современных условиях необходимо активизировать процессы поддержки инициатив молодежи относительно профессиональной подготовки и трудоустройства, мотивирования ее к активному поиску работы, получения специальности или профессии, пользующейся спросом на рынке труда, и в этом смысле очень важной является полная и квалифицированно предоставленная информация относительно перспектив профессионального роста молодежи;

3) необходимо создавать такие социально-экономические условия, благодаря которым молодежь была бы заинтересована в экономической активности в регламентированных видах экономической деятельности, а это способствовало бы, в свою очередь, возрождению ценностных ориентаций к труду, которые являются основными средствами достижения разнообразных целей, а значит, выполняют функцию регулятора социального поведения личности;

4) с целью повышения эффективности образовательных систем и помощи молодым людям в выходе на рынок труда необходимо осуществлять мероприятия в рамках реформирования системы образования, например, создания действенной и эффективной системы непрерывного образования, формирования компетентностных качеств молодежи относительно положительного мотивационного поведения в отношении к труду, создания в образовательных учреждениях подразделений по трудоустройству своих выпускников, осуществление прогнозирования объемов профессиональной подготовки молодежи в учреждениях образования с учетом спроса на рынке труда и др.

Решение проблем молодежного сегмента рынка труда возможно только путем объединения усилий государственного регулирования, общественных организаций, семьи и общества в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт Государственной службы статистики Украины. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: /<http://www.ukrstat.gov.ua/>. – Дата доступа: 15.10.2019

УДК 378+727+377+37

## ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО АРХИТЕКТУРНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УКРАИНЕ С УЧЕТОМ ИНТЕГРАЦИИ В ЕВРОПУ

**А.М. Савченко, А.А. Заика**

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

e-mail: valeras@ukr.net

*С провозглашением независимости в Украине началось развитие национального высшего образования. Отсутствие финансирования, утечка профессиональных кадров, невозможность проводить научные исследования надолго ввели систему высшего образования Украины в период застоя. Но независимая Украина, развиваясь, постоянно реформирует систему образования в целом и систему высшего образования в частности, перенимая опыт передовых государств, правда с большим отставанием от лидеров.*

**Ключевые слова:** реформирование высшего образования, Болонский процесс, качество подготовки специалистов, проблемы высшего образования

## PROBLEMS OF HIGHER ARCHITECTURAL AND BUILDING EDUCATION IN UKRAINE TAKING INTO ACCOUNT INTEGRATION IN EUROPE

**A. Savchenko, A. Zaika**

<sup>1,2</sup>Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev, Ukraine

e-mail: valeras@ukr.net

*With the declaration of independence in Ukraine, the development of national higher education began. Lack of funding, leakage of professional personnel, and the inability to conduct scientific research for a long time introduced the higher education system of Ukraine during the period of stagnation. But independent Ukraine, developing, is constantly reforming the education system as a whole and the higher education system in particular, adopting the experience of advanced states, though with a big lag behind the leaders.*

**Keywords:** higher education reform, The Bologna Process, quality of training, problems of higher education

Рассматривая проблему высшего архитектурного и строительного образования в Украине с учетом интеграции в Европу, следует сказать, что большинство проблем касаются высшего образования в Украине в целом.

Современное развитое общество и правовое государство сложно представить без образования и науки, что является важными факторами, влияющими на уровень и качество жизни граждан. Уровень развития и экономика страны имеют прямую зависимость от степени внимания правительства государства к образованию и науке. С провозглашением независимости в Украине началось развитие национального высшего образования. На базе высших учебных заведений, которые были созданы в период СССР, а также

возрожденных исторических учебных центров (таких как Острожская и Киево-Могилянская академия) развиваются и совершенствуются стандарты высшего образования. Независимое государство взялось за реформирование высшего образования с огромным энтузиазмом. Как результат, возросла популярность высшего образования. Если в УССР высшее образование получали 20% населения республики, то в середине 90-х уже почти 80%. Резко увеличилось количество вузов, появились частные учебные заведения. Однако, несмотря на это, вузы в Украине не стали двигателями социальных, экономических и правовых реформ.

Экономический кризис в 90-х плохо отразился и на системе высшего образования и на науке. Отсутствие финансирования, утечка профессиональных кадров, невозможность проводить научные исследования надолго ввели систему высшего образования Украины в период застоя. Но независимая Украина, развиваясь, постоянно реформирует систему образования в целом и систему высшего образования в частности, перенимая опыт передовых государств, правда с большим отставанием от лидеров. Так, когда европейские государства осознали, что теряют свои позиции в системе высшего образования, уступая системе образования США, проигрывая в борьбе за потенциального студента и теряя прямые инвестиции в высшее образование, они объединили усилия. В июне 1999 г. в итальянском городе Болонья 29 стран Европы подписали Болонскую декларацию, цель которой установление европейской зоны высшего образования, а также активация европейской системы высшего образования в мировом масштабе. Украина присоединилась к Болонскому процессу только в 2005 г. Внедрение Болонской системы в Украине происходит медленно с большим торможением. Даже сегодня, спустя 14 лет, интеграция Украины в европейскую систему образования не завершена, не все пункты декларации работают. Медленно проводилось усовершенствование законодательства Украины в сфере образования, в том числе и высшего с учетом требований Болонской системы. Так в 2006 г. было внедрено в системе среднего общего образования внешнее независимое оценивание, что стало важным шагом к преодолению коррупции в системе высшего образования и созданию равных условий для поступления в вузы. Качество реформ высшего образования прямо связано с реформированием системы средней школы, которая создает базу для продолжения образования.

Большие надежды на качественное и системное реформирование высшего образования возлагались на Закон Украины «О высшем образовании» (01.07.2014), но часть проблем в системе высшего образования так и не были решены, зато возникли новые.

По мнению авторов, среди самых важных проблем стоит подчеркнуть:

- Структура университетов Украины не отвечает современным требованиям, которые ориентированы на результаты научных исследований;
- Плохое финансирование сферы образования, а как результат низкий уровень оплаты труда преподавательского состава, не улучшается (не соответствует прогрессивным, новым технологиям) лабораторный комплекс;
- При наличии большого количества вузов в Украине (с расчета на количество населения - 6 вузов на 1млн человек) низкий рейтинг (вузы страны не поднимаются выше 400-й строчки в глобальном рейтинге учебных заведений мира QS World University Rankings;



- Массовый отток украинских студентов на учебу в вузы зарубежных стран, выбирая местом учебы университеты Польши, Германии, США, Канады, ведь цены на образование во многих странах аналогичны Украине, а качество подготовки специалистов и их конкуренция на рынке труда выше;

- Получив образование за границей, не все украинцы возвращаются домой, многие трудоустраиваются в Европе, а Украина при этом страдает от нехватки профессиональных кадров;

- Огромной проблемой является и трудоустройство выпускников вузов. Работодатели ищут специалистов с опытом работы, но при этом, уровень оплаты труда, зачастую низкий. А выпускники ищут работу с достойным уровнем оплаты, чувствуя, что имеют уровень образования выше, чем требуется для работы, которую им предлагают. Это приводит к тому, что многие выпускники вынуждены искать работу за границей. Талантливых сразу принимают на работу зарубежные научные центры и большие компании, но и менее талантливые, предпочитают устроиться на менее квалифицированные рабочие места, но при этом зарабатывать в разы больше, чем их однокурсники, оставшиеся в Украине;

- Из-за низкого уровня оплаты труда, преподавателей вузов, на этих должностях часто работают теоретики, а поэтому студенты не получают практических советов, их знания сводятся к сухой теории. Это приводит к разрыву между работодателями и вузами (первые ждут практиков, готовых сразу приступить к работе, вторые выпускают теоретиков, которым не хватает практических навыков);

- Система образования в Украине бюрократична. Учебные программы и планы должны утверждаться во многих инстанциях, в результате пока инновационная, с новыми технологиями информация дойдет до студента, она становится устаревшей;

- Дипломы украинских вузов в мире подтверждают, но не всегда признают. Полученное в Украине образование может просто не пригодиться за рубежом.

Отсюда вытекают и проблем высшего архитектурного и строительного образования в Украине. Низкий уровень подготовки абитуриентов по некоторым дисциплинам, составляющим основу технического образования. На первом месте стоит поставить черчение, без которого тяжело представить себе работу архитектора или инженера строителя. Дело в том, что во многих школах страны не читается черчение, соответственно у выпускников школ вообще нет не только практических навыков, но даже теоретических. Для поступления в технические вузы Украины абитуриенты сдают внешнее независимое оценивание с математики, химии, физики. Уровень знаний с каждым годом все ниже, что легко объяснить некачественным средним образованием. Но так ли это? Действительно ли учителя виноваты в том, что выпускники школ слабо подготовлены? Позволим себе не согласиться. С введением внешнего независимого оценивания при поступлении в вузы и отменой выпускных экзаменов в средней школе, учителя столкнулись с пассивностью учеников. Заранее определившись с направлением высшего образования, ученики и их родители считают, что остальные предметы для них не важны. При этом, по выбранному направлению нанимаются репетиторы, задача которых в кратчайшие сроки «поднатаскать» в знаниях для успешной сдачи тестирования. Большая масса учеников

попросту теряет время в школе, считаю не нужным учиться изо дня в день, если можно с помощью репетитора быстро освоить материал, при этом они мешают тем немногим, кто учиться хочет и возможности оплачивать репетитора не имеет. Успешно сдав ВНО, такие выпускники становятся студентами и тут оказывается, что знаний их недостаточно, а учиться самостоятельно и систематически они не умеют. Преподавателям вузов приходится заново приучать их к этому процессу, тратить драгоценное время и силы, поэтому они думают, что недоработала средняя школа.

Введение внешнего независимого оценивания при поступлении в вузы для всех категорий, привело к потере «возрастной» категории студентов. Ведь работающие люди, которые закончили школу десятки лет назад, не могут пройти ВНО, так как у них недостаточно знаний (ведь учились давно и по старой программе), а на подготовку нет времени (работа, семья).

Надо сказать, что именно эта категория студентов, составляла большую часть на заочной форме обучения и при этом приносили доход, ведь учились по контракту (за счет физических или юридических лиц). Эти студенты также отличались от выпускников школ особой заинтересованностью в образовании, ведь уже работали по специальности.

Очевидной проблемой является также несогласованность спроса и предложения рынка. Ежегодно с вузов Украины выпускаются тысячи специалистов по строительным специальностям, которые долго и часто безуспешно ищут работу в Украине. В тоже время, работодатель тратит огромное количество времени и средств на поиски, обучение и переучивание сотрудников для своего предприятия. Из-за медленного внедрения продвинутых современных технологий в программу обучения и низкого финансирования, что приводит к отставанию лабораторий вузов от практики в строительных организациях, украинские строительные вузы выпускают специалистов, которые могли бы быть востребованы в прошлом, а не в настоящем и тем более в будущем.

Базовыми для профессиональной программы магистров является программа бакалавров. Бакалавр – архитектор, имеющий широкую базовую подготовку в области архитектуры и обладающий правом работать под руководством специалиста (магистра). От младшего специалиста (техника) он отличается большей теоретической подготовкой. В настоящее время, при отсутствии стандартных программ по подготовке бакалавров, каждая архитектурная школа работает по своим учебным планам, согласованным с Министерством образования и науки Украины и соответствующим учебным планам Киевского Национального университета строительства и архитектуры. Специалист, имеющий академическую подготовку и практический опыт ознакомления с проектным делом, соответствует уровню архитектора, которого готовили в архитектурно-строительных вузах в XX столетии. Магистр должен иметь научную подготовку в большей степени, чем специалист.

Долгое время архитектурные вузы Украины в большинстве своем одновременно готовили специалистов и магистров (после 4, 5 лет подготовки бакалавров – 1,5 года подготовки специалиста и магистра), т.е. специалист и магистр подготавливаются одновременно. На наш взгляд, магистра необходимо подготавливать либо сразу после стадии «бакалавр», либо после стадии «специалист». Не менее важным является вопрос о специальностях при подготовке архитектурных кадров [1].

На сегодняшний день в Украине практически отсутствует связь архитектурного образования и рынка труда, нет дисциплины по маркетингу и менеджменту для архитекторов, где специалиста учат решать организационные вопросы, связанные с налаживанием работы коллектива, участием в конкурсах, работой с заказчиками и т.д. [Текст] / Емамiанфар А.

В Украине наблюдается серьезная проблема с рабочими специальностями. Дефицит квалифицированных рабочих специалистов приводит к тому, что выпускник ПТУ быстрее найдет высокооплачиваемую и стабильную работу, чем выпускник столичного вуза. Зарплата же выпускника техникума с опытом работы в несколько лет может в разы превышать зарплату специалиста с вузовским дипломом.

Отсутствие мотивации научно-педагогических работников. Кроме достаточно низких социальных стандартов и гарантий, в частности оплаты труда, в системе высшего образования от научно-педагогических работников требуется дополнительно знание иностранного языка (уровень B2) и публикации в отдельно взятых наукометрических базах Scopus, Web of Science.

Самой большой проблемой Украины при внедрении Болонской системы в высшее образование это следование «букве, а не духу закона». Отсюда постоянный конфликт власти и педагогов, что периодически выливается в забастовки. Ведь вливаясь в единое европейское пространство, повышая требования к вузам и научно-педагогическому составу власть почему-то забывает повышать социальные гарантии и уровень финансирования, более того постоянно их сокращает. Хочется верить, что в перспективе Украина сможет справиться с задачами, поставленными перед ней Болонским процессом и выведет высшее образование на новый уровень, конкурентный европейскому.

Без современного качественного образования и науки Украина не имеет никаких перспектив на успех прочих реформ!

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шаловили, Н.Г. К вопросу о современных подходах к организации высшего архитектурно-художественного образования [Текст] / Н.Г. Шаловили // Современные проблемы архитектуры и градостроительства: Научно-технический сборник. – Киев: КНУБА, 2011. – Вып. 26. – С. 115–121.
2. Нагаева, С., Шаловили, Н.Г. [Текст] / Емамiанфар А.; Київський національний університет будівництва і архітектури. – К., 2013. – 21 с.

УДК 378.147:69.04

## ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЕКТНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

*Л.С. Турищев*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: lst41@mail.ru

*В статье рассматриваются особенности использования метода проектов в преподавании строительной механике. Обсуждаются информационный и исследовательский проекты, которые выполняются студентами при изучении строительной механики.*

**Ключевые слова:** рынок труда, метод проектов, профессиональные компетенции, системообразующая дисциплина, межпредметные связи, информационный проект, исследовательский проект.

## ON THE USE OF PROJECT-BASED LEARNING FOR STUDENTS OF CONSTRUCTION SPECIALTY

*L. Turishchev*

Polotsk State Univesity, Republic of Belarus

e-mail: lst41@mail.ru

*The article describes the features of the use of design training in the teaching of structural mechanics. We consider information and research projects that are performing by students in the study of structural mechanics.*

**Keywords:** labor market, project method, professional competence, system-discipline, interdisciplinary communication, information project, research project.

Современный рынок труда оценивает профессиональную подготовку инженеров-строителей не в терминах знания-умения-навыки, а через понятие компетентность. Согласно СТБ ИСО 9000 компетентность – это выраженная способность применять свои знания. Поэтому такая оценка специалистов на рынке труда предполагает, что при обучении студентов необходимо, в первую очередь, готовить их к умению решать насущные комплексные проблемы, связанные со строительной отраслью, как самостоятельно, так и в составе команды.

Технологически решение этой задачи наиболее эффективно, по-видимому, может быть реализовано через использование проектно-ориентированного обучения или метода проектов. Концептуальные основы этого метода были сформулированы Джоном Дьюи [1]. Такое обучение, образно говоря, выступает в роли связующего мостика между тем, что студенты изучают в вузовской аудитории, и тем, с чем они встретятся в будущей профессиональной деятельности.

Объектами профессиональной деятельности инженеров-строителей являются проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений различного функционального назначения. Основопологающей компонентой строительного образования является проектирование. Фундаментальная роль в этой компоненте образования принадлежит прочностной подготовке студентов, так как от этого, в первую очередь, зависит надёжность и материалоёмкость будущего строительного объекта. Прочностная подготовка студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство» базируется на изучении ряда физико-математических дисциплин, связанных с механической формой движения и её частного случая – равновесия деформируемых твёрдых тел. Системообразующей дисциплиной этого ряда является строительная механика.

К числу формируемых профессиональных компетенций в рамках изучения строительной механики следует, в первую очередь, отнести следующее. Во-первых, владение базовыми научно-теоретическими знаниями и умение применять их для решения комплексных инженерных задач на стыке областей знаний. Во-вторых, умение выполнять расчеты несущих конструкций, в том числе, с использованием компьютерных технологий. Исходя из этого, при изучении строительной механики студенты по выбору участвуют, по меньшей мере, в осуществлении одного из двух проектов. При желании студент может принять участие в обоих проектах.

Первый проект является информационным и носит групповой характер. Проект посвящен разработке электронного междисциплинарного глоссария определенного модуля курса «Строительная механика». Для выполнения информационного проекта студенты делятся на команды по 3-4 человека и в каждой команде определяется лидер. Затем команда выбирает из предлагаемого перечня модуль для разрабатываемого междисциплинарного электронного глоссария.

В число проектных модулей курса входят:

1. Общие положения и понятия строительной механики.
2. Методы определения внутренних усилий в статически определимых стержневых конструкциях от действия нагрузки.
3. Методы определения внутренних усилий в статически неопределимых стержневых конструкциях от действия нагрузки.
4. Методы определения перемещений в стержневых конструкциях от действия нагрузки, температуры и осадки опор.

Основными этапами проекта являются:

- первичный анализ содержания выбранного проектного модуля курса;
- составление структурно-логической схемы связи выбранного проектного модуля курса с соответствующими разделами обеспечивающих дисциплин учебного плана;
- анализ содержания проектного модуля и составление перечня его ключевых понятий, определений, алгоритмов;
- обсуждение с куратором проекта составленного перечня ключевых понятий, определений, алгоритмов;
- анализ содержания, разделов обеспечивающих дисциплин учебного плана согласно составленной СЛС;

- консультации с преподавателями обеспечивающих дисциплин учебного плана по разделам, анализ содержания которых вызывает трудности;
- составление перечня работ и распределение их между членами команды;
- составление календарного плана проекта;
- создание с использованием облачного сервиса Classroom платформы Google Apps for Education страницы для сбора, хранения, изменения материалов проекта и обсуждения хода его выполнения в режиме on-line;
- разработка интерактивного междисциплинарного глоссария согласно составленной перечня ключевых понятий, определений, алгоритмов проектного модуля и его СЛС в системе управления базами знаний Mybase;
- обсуждение с куратором конечного продукта выполненного проекта;
- подготовка презентации выполненного проекта;
- представление и обсуждение в группе выполненного проекта;
- оценка куратором выполненного проекта.

Участие в информационном проекте способствует:

- развитию познавательной самостоятельности студентов;
- формированию у студентов понимания системы междисциплинарных связей модулей курса «Строительная механика» с обеспечивающими дисциплинами учебного плана;
- приобретению студентами умений осуществлять поиск и работу с различными источниками информации;
- привитию студентам навыков работы в команде.

Конечным продуктом проекта является ехе-файл интерактивного междисциплинарного глоссария модуля курса. Реализация проекта осуществляется с использованием программы MyBase. Программа является оболочкой для создания базы знаний, позволяющей структурировать и сохранять информацию в различных форматах в виде древовидного иерархического списка. Применение MyBase для создания подобных материалов рассматривалось [2,].

Второй проект является исследовательским, и он выполняется студентом индивидуально. Проект связан с регулированием напряженно-деформированного состояния стержневых конструкций при выполнении студентами расчетно-проектировочных работ, связанных с типовыми расчетами таких конструкций.

Для выполнения исследовательского проекта студент выбирает тематику расчетно-проектировочной работы, выполняет традиционный расчет соответствующей стержневой конструкции, проводит анализ полученных числовых параметров НДС и выявляет те из них, которые, по его мнению, наиболее существенно влияют на несущую способность и материалоемкость рассчитываемой конструкции.

Основными этапами проекта являются:

- выбор каждым исполнителем проектной РПР курса;
- выполнение исполнителями проекта стандартных расчетов своих вариантов, выбранных проектных РПР курса;

- анализ каждым исполнителем проекта полученных числовых параметров НДС рассчитанной стержневой конструкции и выявление тех из них, которые, по его мнению, существенно влияют на несущую способность и материалоемкость конструкции;
- обсуждение с куратором проекта и выбор возможных параметров конструкции, за счет изменения которых следует осуществить регулирование НДС конструкции;
- составление перечня работ и календарного плана проекта;
- создание с использованием облачного сервиса Classroom платформы Google Apps for Education страницы для сбора, хранения, изменения материалов проекта и обсуждения хода его выполнения в режиме on-line с куратором проекта;
- формирование математической модели конструкции в виде функциональной зависимости от выбранных параметров НДС для оценки их влияния на несущую способность или материалоемкость рассчитываемой стержневой конструкции;
- поиск оптимального варианта параметров, регулирующих НДС конструкции, с использованием математического пакета MathCAD;
- обсуждение с куратором проекта полученного оптимального варианта параметров конструкции;
- подготовка презентации выполненного проекта;
- представление и обсуждение в группе выполненного проекта;
- оценка куратором выполненного проекта.

Участие в исследовательском проекте способствует:

- овладению студентами элементами и приемами научно-исследовательской работы при выполнении РПР по курсу «Строительная механика»;
- приобретению студентами умений управления НДС стержневых конструкций с использованием компьютерных технологий;
- привитию студентам навыков творческого поиска при проектировании несущих конструкций.

С этой целью студенты при выполнении расчетно-проектировочных работ, наряду с традиционным определением числовых параметров НДС различных стержневых конструкций, занимаются вопросами их управления за счет изменения параметров конструкций [3]. Реализация данного проекта осуществляется с использованием математического пакета MathCAD. Выбор этого программного средства обусловлен тем, что он позволяет студенту достаточно просто получать математическую модель НДС рассматриваемой конструкции, а затем наглядно и эффективно в режиме on-line заниматься её оптимизацией.

Важную роль в реализации проектного обучения играет использование облачных сервисов платформы Google Apps for Education в университетском домене rdu.by. К числу таких сервисов относятся Диск, Документы, Таблицы, Презентации, Формы, Classroom, Gmail, Talk. Указанные сервисы позволяют исполнителям проектов создавать и хранить все материалы в одном месте, иметь к ним доступ в любое удобное время и вносить в них изменения, проводить on-line обсуждения как внесенных изменений, так и хода выполнения проекта в целом с членами своей команды и с преподавателем, курирующим проект.

В заключение, следует отметить, что метод проектов, по-видимому, не сможет полностью заменить традиционную вузовскую методику очного обучения, а позволяет неформально дополнять её осознанным участием самих студентов в образовательном процессе. Это будет эффективно способствовать развитию познавательной самостоятельности студентов и формированию их готовности к будущей креативной профессиональной деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. John Dewey Democracy and Education: An Introduction to the Philosophy of Education / John Dewey. - New York: Macmillan, 1916. – 434 p.
2. Турищев, Л.С. Внедрение информационных технологий в преподавание курса «Строительная механика» для студентов строительного профиля / Л.С. Турищев // Перспективы развития высшей школы. Материалы III международной научно-методической конференции, 27–28 мая 2010, Гродно. – С. 285–288
3. З.Абовский, Н.П. Регулирование. Синтез. Оптимизация. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости // Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, В.И. Савченков и др.; Под ред. Н.П. Абовского. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.; Стройиздат, 1993. – 456 с.



УДК 625.7/8

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

*М.В. Жарков, С.А. Железнов, Г.В. Проваторова*

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Российская Федерация  
e-mail: zheleznov-85@mail.ru

*В работе рассмотрены вопросы подготовки специалистов для дорожных организаций Владимирской области, возможность обучения по целевым договорам с предприятиями, проведения производственных практик студентов на предприятиях дорожной отрасли.*

**Ключевые слова:** дорожные организации, молодой специалист, производственная практика, подготовка специалистов.

## WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF TRAINING THE SPECIALISTS FOR ROAD INDUSTRY

*M. Zharkov, C. Zheleznov, G. Provatorova*

Vladimir State University, Russian Federation  
e-mail: zheleznov-85@mail.ru

*The paper deals with the training of specialists for road organizations of the Vladimir region, the possibility of training on target contracts with enterprises, conducting practical training of students at enterprises of the road industry.*

**Keywords:** road organizations, young specialist, industrial practice, training of specialists.

Вопросы подготовки специалистов в любой сфере экономики, в том числе, в дорожной отрасли являются весьма актуальными, так как современное производство требует внедрения инновационных методов ведения работ, применение новых машин, оборудования и материалов, а также современных специализированных программных комплексов. Все это, в свою очередь, требует наличия высококлассных специалистов.

В данной статье рассмотрены вопросы подготовки специалистов для одной из дорожных организаций Владимирской области.

Филиал "СДРСУ" является динамически развивающимся подразделением дорожно-строительного предприятия ГУП "ДСУ-З". Основными направлениями деятельности филиала в дорожно-строительной отрасли, являются работы по устройству горизонтальной дорожной разметки, производству полимерно-битумного вяжущего и битумной эмульсии, строительству, ремонту мостов, путепроводов и других искусственных сооружений, работы по обеспечению безопасности дорожного движения, содержанию авто-

мобильных дорог, очистке полосы отвода от древесно-кустарниковой растительности, а также оказание транспортных услуг.

Вследствие развития филиала с каждым годом возрастает потребность в квалифицированных специалистах, обладающих знаниями прогрессивных материалов, оборудования и методов выполнения работ, применяемых в современном технологическом процессе, которые позволят филиалу ГУП «ДСУ-3» «СДРСУ» оставаться на лидирующих позициях в своей сфере.

В целях удовлетворения этой потребности, ведутся работы по организации тесного сотрудничества с различными ВУЗами по привлечению студентов направления «Строительство» профиль «Автомобильные дороги», которое позволит приобрести молодым специалистам практический опыт по выбранной специальности и навыки решения производственных задач.

Началом этой работы, как правило, являются ознакомительные экскурсии на производственные площадки филиала, крупные строящиеся объекты и ответственные участки по содержанию автомобильных дорог, находящихся в ведении филиала. Знакомство с работой филиала происходит на примере основных направлений деятельности представленных:

- производством полимерно-битумного вяжущего и битумных эмульсий на собственном автоматизированном эмульсионном заводе;
- работами по нанесению горизонтальной дорожной разметки;
- работами по строительству, ремонту и содержанию мостов путепроводов и других искусственных сооружениях.

Проведение данных экскурсий организуется для студентов 1 и 2 курсов профиля "Автомобильные дороги" при совместном участии преподавателей кафедры заинтересованного ВУЗа и ведущих специалистов филиала. Несомненный профессиональный интерес студентов, наблюдающийся в ходе таких встреч, говорит о важности последних в осознании верности выбора, сделанного студентами на своем этапе становления, как молодого профессионала. Как отмечают преподаватели, после таких экскурсий освоение теоретического материала становится наиболее продуктивным. А главное, к студентам приходит понимание того, что предприятиям дорожно-строительной отрасли нужны квалифицированные специалисты, способные выполнять поставленные задачи в срок, и быть готовыми выступить в роли структурного руководителя, организовав работу введенного подразделения.

Следующим шагом является прием студентов старших курсов на производственную практику, позволяющую более детально познакомиться со структурой филиала, изучить производственные и технологические процессы строительства, ремонта, содержания автомобильных дорог. Кроме того, во время практик студенты общаются с будущими коллегами.

В ходе обучения студенты проходят две производственных практики, в конце каждой из которых руководитель практики от предприятия дает заключение о видах, объемах и качестве выполнения, поставленных практиканту заданий.

Ознакомление с реальными условиями деятельности во время практики способствует закреплению и углублению теоретических знаний и умений, полученных в ходе обучения, получению практических навыков и опыта трудовой деятельности для студентов, формированию представления о работе специалистов отдельных направлений филиала, о стиле профессионального поведения, профессиональной этике, а также подготовке студентов к последующему осознанному изучению профильных дисциплин.

Производственная практика включает в себя три этапа:

Первый этап – теоретическое ознакомление с деятельностью филиала и ГУП "ДСУ-З" в целом. В рамках этого этапа студенты:

- изучают организационные построения дорожно-строительного предприятия;
- изучают нормативно-правовую основу деятельности предприятия;
- знакомятся с тематической нормативно-технической документацией;
- закрепляют теоретические знания по специальным, общетехническим и общественным дисциплинам;
- приобретают опыт работы с чертежами и проектами на рабочем месте;
- знакомятся с взаимодействием участников инвестиционного процесса;
- изучают наиболее перспективные направления развития предприятия;
- приобретают опыт проведения учета и отчетности;
- изучают правила охраны труда, техники безопасности и производственной санитарии;
- знакомятся с оформлением документов (требований на материалы, спецодежду и инструмент, актов сдачи-приемки работ, списания материалов, составление исполнительной документации и т.д.);
- учатся составлять сметы и единичные расценки на дорожные работы;

Второй этап – непосредственно на объекте или производстве. Осуществляется по утвержденному плану под руководством представителя производства – главного инженера и контролируется представителем института – преподавателем. Руководитель практики знакомит студентов с объектом практики, его дорожно-строительным оборудованием и организационной структурой, организует для них встречи с руководящими работниками предприятия для изучения передового опыта в строительстве.

В рамках второго этапа студенты:

- получают практические навыки при выполнении геодезических работ на дорожно-строительных или дорожно-ремонтных работах;
- приобретают опыт организаторской и воспитательной работы в коллективе;
- знакомятся с основными направлениями производственно-хозяйственной деятельности предприятия;
- приобретают навыки оперативного управления производством;
- участвуют в работе по организации труда и распределению заработной платы на объекте;
- приобретают опыт в осуществлении контроля качества строительной продукции;
- закрепляют теоретические знания по соблюдению правил обеспечения охраны труда и техники безопасности на объекте;

– приобретают опыт руководства подчиненными на участке с помощью мастеров-наставников;

– знакомятся с работой дорожно-строительных механизмов и оборудования.

Завершающий этап - преддипломная практика студентов последнего курса. Целью преддипломной практики является закрепление и углубление теоретических знаний и практических навыков, полученных в период обучения в ВУЗе и в период прохождения первого и второго этапов производственной практике, изучение передового производственного опыта, экономических показателей работы филиала, сбор фактического материала, необходимого при работе над выпускной квалификационной работой. Собранные материалы должны быть основой для ее выполнения. Так же студенты принимают участие в конструкторских, технологических и исследовательских разработках филиала.

В период преддипломной практики студенты могут занимать штатные должности или должности дублеров техника, мастера, прораба или другие должности технических работников, связанных с производством дорожно-строительных работ.

Прохождение всех этапов производственной практики помогает студентам - будущим специалистам дорожно-строительной отрасли понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес. Организовывать собственную деятельность, определять методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество. Решать проблемы, оценивать риски и принимать решения в нестандартных ситуациях. Осуществлять поиск, анализ и оценку информации, необходимой для постановки и решения профессиональных задач, профессионального и личностного развития. Использовать информационно-коммуникационные технологии для совершенствования профессиональной деятельности. Работать в коллективе и команде, обеспечивать ее сплочение, эффективно обеспечивать и контролировать их работу с принятием на себя ответственности за результат выполнения заданий. Ставить цели, мотивировать деятельность подчиненных, организовывать и контролировать их работу с принятием на себя ответственности за результат выполнения заданий. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации. Быть готовым к смене технологий в профессиональной деятельности.

Современные образовательные стандарты по подготовке специалистов для дорожной отрасли включают обязательное прохождение производственной практики в виде НИР – научно-исследовательской работы. Научно-исследовательская работа предполагает изучение современных достижений науки в дорожной сфере и возможности их применения в дорожных организациях области.

Подготовку специалистов для конкретной организации и конкретной специализации (направленности) позволяет обеспечить обучение в ВУЗе по целевому контракту, т.е. когда обучение студента финансирует дорожная организация или по ее заказу администрация субъекта федерации. По окончании института выпускник должен отработать определенное количество лет в данной организации. На всех этапах обучения, прохождения практик, выполнения выпускной квалификационной работы организация курирует студента - «целевика».

**Заключение.** по нашему мнению, такая система подготовки специалистов, предусматривающая тесное сотрудничество дорожно-строительных предприятий с профильными ВУЗами, в нашем случае с Владимирским государственным университетом, являющимся опорным ВУЗом нашего региона, на всех этапах обучения, позволяет подготовить высококвалифицированные кадры для дорожной отрасли, обладающие багажом не только теоретических знаний, но и набором практических навыков, которые в последствии помогут им сначала закрепиться в начальной должности, и, в последствии, двигаться вверх по карьерной лестнице.

УДК 69:372.8

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ  
ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСА «ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ» В ВУЗЕ

*Е.И. Кисель, Л.Г. Срывкина*

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь  
e-mail: eleniva2006@mail.ru, lgsryvkina@mail.ru

*Работа направлена на исследование инновационных методов и средств обучения, применяемых в учреждениях высшего образования технического профиля. Рассмотрены возможности их применения на примере изучения дисциплины «Организация и управление в строительстве».*

**Ключевые слова:** образование, инновации, методы, средства, информация, интеллект-карта.

APPLICATION OF INNOVATIVE METHODS AND TOOLS  
IN STUDYING THE COURSE "ORGANIZATION AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION"  
IN THE UNIVERSITY

*A. Kisel, L. Sryukina*

Brest state technical university, Republic of Belarus  
e-mail: eleniva2006@mail.ru, lgsryvkina@mail.ru

*The work is aimed at the study of innovative teaching methods and tools used in higher education institutions of a technical profile. The possibilities of their application are examined on the example of studying the discipline «Organization and management in construction».*

**Keywords:** education, innovation, methods, tools, information, mind map.

**Введение.** Актуальность темы связана с растущими запросами общества в отношении уровня подготовки обучающихся в учреждениях высшего образования, а также информатизацией всех сфер деятельности, включая образование, требующей выработки и внедрения в учебный процесс новых методов и образовательных технологий.

В текущий исторический период приоритет отдается инновациям. Современное социокультурное пространство находится в инновационном состоянии, для которого характерны новая логика формирования мировоззрения, субъектная позиция и толерантность в социальных взаимодействиях, самоорганизация в жизнедеятельности. В инновационном наполнении социокультурного пространства участвует и система образования.

Параллельно с этим сегодня формируется новый психофизический тип обучающегося. Молодые люди лучше воспринимают визуальную информацию, нежели аудиальную, мыслят короткими, яркими фрагментами, не любят много слушать. Методы и приемы обучения и воспитания должны переосмысливаться с учетом этого.

Информатизация всех сфер жизни общества требует от образования применения информационных технологий в обучении, принципиального изменения характера взаимодействия преподавателя и студентов, роста уровня самостоятельности обучающихся. Одновременно стоит задача повышения мотивации студентов к обучению, выработки практических навыков действий в профессиональной сфере, роста заинтересованности в достижении высоких качественных результатов труда.

**Инновации в образовательном процессе.** Инновации понимаются как целевое изменение в функционировании системы, носящее как количественный, так и качественный характер. Термин «инновации» обычно связывают с новой технологией или новым продуктом.

*Инновации в образовании* представляют собой качественное изменение структуры и содержания образовательных программ, форм и методов организации учебного процесса, системное и комплексное применение инновационных технологий [1, с. 133]. Они могут осуществляться как посредством *модернизации* традиционной репродуктивной ориентации учебного процесса, так и за счет ее *трансформации*, направленной на обеспечение исследовательского характера учебного процесса, формирование у обучающихся опыта самостоятельного поиска новых знаний и путей их применения в современных условиях.

Инновации в сфере образования реализуются различными способами:

- путем новых образовательных технологий (*технологические инновации*);
- путем новых экономических механизмов в сфере образования (*экономические инновации*);
- путем новых педагогических приемов и методов преподавания и обучения (*педагогические инновации*);
- путем новых организационных структур и институциональных форм в сфере образования (*организационные инновации*) [1, с. 133-134].

Рассмотри более подробно *педагогические инновации*. Основными их критериями выступают новизна, оптимальность, высокая результативность, возможность творческого применения в массовом опыте. *Новизна* применительно к методам обучения является субъективной характеристикой, выделяют несколько уровней новизны. *Оптимальность* определяется соотношением затрат преподавателей и обучающихся и достигнутых результатов обучения. *Результативность* подразумевает устойчивость положительных результатов в деятельности преподавателей.

К *инновационным методам обучения* студентов в техническом вузе можно отнести: метод портфолио; метод проблемного изложения; лекцию-визуализацию; метод проектов; научно-исследовательскую деятельность студентов, встроенную в учебный процесс; проблемное обучение; применение информационных технологий в образовании.

*Метод портфолио* - «папка достижений» обучающегося - применяется в учебной и воспитательной деятельности и представляет собой систематический и специально организованный сбор документов о собственной деятельности: языковых сертификатов, сертификатов обучения, публикаций, документов, подтверждающих участие в различных мероприятиях и конкурсах, грамот, дипломов, благодарностей, творческих работ

(их копий, фотографий). Портфолио может быть представлено в бумажном или электронном виде. Он служит способом осознания своих результатов в одной или нескольких областях, доказательством прогресса в обучении и развитии. Портфолио может применяться для текущей оценки компетентности, а также конкурентоспособного выхода на рынок труда, что особенно важно для студентов выпускных курсов. Одновременно применение метода портфолио позволяет повысить самооценку и ориентировать молодого человека в социальном окружении.

*Метод проблемного изложения* заключается в том, что преподаватель, используя различные источники и средства, до начала изложения материала формулирует проблему (познавательную задачу). Затем, через систему доказательств, сравнение различных точек зрения и подходов, показывает способ ее решения. Студенты тем самым вовлекаются в научный поиск, становятся его свидетелями и соучастниками [2, с. 118-119]. Применение данного метода оживляет лекции и практические занятия.

*Лекция-визуализация* не является чем-то новым в педагогике, так как принцип наглядности используется много лет и позволяет сблизить теорию и практику. Наглядность обеспечивается за счет применения различных средств: натуральных материалов, изобразительных средств (слайдов, рисунков, фотографий), символических средств (схем, таблиц). При подаче материала важно соблюдать визуальную логику, ритм и дозировку подачи.

С современными студентами без таких лекций работать практически невозможно, поскольку визуальное восприятие информации является для нового поколения преобладающим с учетом его психофизических особенностей. Лекцию также необходимо подкреплять аудиально, соотнося картинку с небольшим количеством текста.

Одним из актуальных вариантов лекции-визуализации является *скрайбинг*. Скрайбинг (от английского *scribe* - набрасывать эскизы) – технология визуализации, подразумевающая создание рисунков во время рассказа на глазах у слушателя, «на лету». Таким способом аудиальная информация подкрепляется визуальными образами и лучше усваивается аудиторией за счет эффекта «параллельного следования». Взаимосвязь словесной информации и визуальных образов помогает в дальнейшем восстановить в памяти прослушанную лекцию [3].

Скрайбинг обладает большим потенциалом в решении проблемы управления временем лекции, что важно в условиях интенсификации образования. Лектор может непрерывно общаться со слушателями на протяжении всего выступления, а в конце занятия, имея общую картинку, произвести обзор рассмотренного материала, сформулировать выводы. Скрайбинг может реализовываться вручную или с применением компьютерных программ (PowToon, GoAnimate, Wideo и др.). Технология скрайбинга может использоваться как преподавателем при изложении нового материала, так и студентом для запоминания и осмысления содержания изученного [4, с. 118].

*Метод проектов* представляет собой систему обучения, при применении которой обучающиеся получают знания и умения в процессе планирования и выполнения заданий (проектов), сложность которых постепенно возрастает. Проекты носят учебный характер и отличаются от производственных проектов своими целями. Если при профессиональном



производственном проектировании ставится цель разработать проект как результат деятельности, то при учебном – овладеть способами и приемами самостоятельного решения учебной задачи, приобрести новые знания, развить личностные качества. Выделяют следующие виды задач учебного проектирования: информационно-исследовательские, конструкторские, технологические [5, с. 98]. При применении метода проектов в технологии учебного процесса происходит смещение акцентов на развитие самостоятельности, предприимчивости, активности, изобретательности обучающихся.

*Проблемно-поисковые методы* подразумевают усвоение знаний, выработку умений и навыков в процессе *частично-поисковой (эвристической)* или *исследовательской* деятельности обучающихся. Такая деятельность реализуется посредством словесных, наглядных и практических методов (проблемной лекции, эвристической беседы, учебной дискуссии, поисковой лабораторной работы и др.) через призму постановки и решения проблемной ситуации.

Сначала проблема формулируется в общем виде, а затем ставятся проблемные вопросы. Важно, чтобы они были точно и правильно сформулированы, не являлись слишком простыми для поиска. Правильно заданные вопросы конкретизируют исследуемую область, определяют теоретическую и практическую значимость проблемы, концентрируют интерес студента на поиске. С помощью проблемно-поисковых методов можно научить студентов решать следующие проблемные ситуации [6, с. 254]:

- анализировать прежний опыт, имеющиеся данные по проблематике;
- выявлять несоответствия проблемы и имеющихся знаний;
- анализировать различные, часто противоречивые, мнения и способы решения проблемы;
- расчленять общую проблему на подпроблемы и осуществлять поиск их решения;
- анализировать нестандартные ситуации, в которых отсутствует возможность применения имеющихся теоретических знаний и практических навыков;
- прогнозировать развитие ситуации при использовании разных подходов к ее решению;
- выдвигать гипотезу, осуществлять их опытную проверку, формулировать выводы.

*Научно-исследовательская деятельность студентов, встроенная в учебный процесс*, реализуется на основе следующих принципов:

- работа выполняется в соответствии с учебными планами и программами учебных дисциплин в обязательном порядке;
- к данному виду деятельности относится самостоятельное выполнение студентами аудиторных и домашних заданий с элементами научных исследований под методическим руководством преподавателя (подготовка эссе, рефератов, аналитических работ; подготовка отчетов по учебным и производственным практикам; выполнение курсовых и выпускных квалификационных работ);
- результаты всех видов научно-исследовательской деятельности студентов, встроенной в учебный процесс, подлежат контролю и оценке преподавателя.

*Проблемное обучение* – технология, направленная, в первую очередь, на «возбуждение интереса» обучающихся. Обучение связано с созданием проблемных ситуаций,

их осмыслении и разрешении в ходе совместной деятельности студентов и преподавателя в условиях оптимальной самостоятельности студентов. Технология не совсем инновационная, но не утратившая своей актуальности и имеющая значительный потенциал. Сегодня проблемное обучение в вузах активно развивается в контексте молодежного предпринимательства. Использование данной технологии создает благоприятные условия для активного участия студентов в решении образовательных и профессиональных проблем за счет следующих факторов [7, с. 213]:

- развития познавательного интереса и мотивации к обучению и будущей профессиональной деятельности;
- формирования активной, инициативной, самостоятельной позиции студентов;
- развития общих и профессиональных компетенций, непосредственно связанных с опытом применения знаний в практической деятельности.

*Применение информационных технологий в обучении* позволяет обучающимся по-новому представить изучаемый материал, систематизировать его, повысить уровень самостоятельности в обучении, развить критическое мышление. К данным технологиям относятся описанный выше скрайбинг, применение концепции «перевернутый класс» в обучении, различных электронных образовательных ресурсов, дистанционного обучения. При использовании таких технологий значительно повышается уровень самообучения и самоконтроля студентов.

Дистанционное обучение строится на следующих специфических принципах [8, с. 240]: интерактивности, стартовых знаний, индивидуализации, регламентности обучения; педагогической целесообразности применения новых информационных технологий; обеспечения открытости; приоритетности педагогического подхода при проектировании образовательного процесса.

Всю совокупность методов преподавания и учения на базе информационных технологий можно разделить по типу коммуникации между сторонами образовательного процесса на четыре группы: самообучение; обучение в индивидуальном порядке; предоставление преподавателем учебного материала; интерактивное взаимодействие участников учебного процесса.

*Интеллект-карта* (ассоциативная карта, ментальная карта, карта мыслей, диаграмма связей, англ. *mind map*) – метод структуризации концепций на основе использования графической записи в виде диаграммы. Представляет собой древовидную схему, в центре которой находится объект внимания – основная идея, понятие или проблема. От центра расходятся основные темы в виде ветвей, которые поясняются ключевыми понятиями или образами.

Основные преимущества применения интеллект-карт по сравнению с линейным конспектированием связаны с тем, что они являются графическим выражением процесса *радиантного мышления*, естественного для человеческого мозга. В результате достигается экономия времени на различных этапах усвоения материала (записывания, работы с конспектами, поиска ключевых слов, запоминания), студент становится интеллектуально более активным восприимчивым к новой информации. Основатель метода Т. Бьюзен отмечает: «Метод интеллект карт отвечает естественному стремлению мозга к законченному и целостному восприятию, в целом к познанию нового» [9, с. 87]. Интеллект-карты выполняют функцию двойственного дидактического инструмента [10, с. 29]:

1) с одной стороны, они могут применяться преподавателем при изложении нового материала, на контрольно-оценочном этапе учебного процесса;

2) с другой стороны, могут использоваться студентами при самостоятельном освоении знаний, а также на рефлексирующем этапе учебного процесса.

Интеллект-карты могут разрабатываться как вручную, так и с использованием специализированных программ с разными функциональными возможностями (XMind, MindMeister, MindManager, iMindMap, Coogole, Conceptdraw, Simplemind и др.). Первый способ имеет преимущество для разработчика: таким образом он лучше запоминает и осмысливает информацию.

**Применение инновационных методов и средств обучения на примере изучения в БрГТУ дисциплины «Организация и управление в строительстве».** «Организация и управление в строительстве» – инженерная дисциплина, предметом изучения которой являются научная организация, планирование и управление строительством и строительным производством, обеспечивающие достижение наилучших производственных и экономических результатов в процессе возведения, реконструкции, капитального ремонта и сноса зданий, сооружений и их комплексов. Дисциплина входит в общегосударственный компонент учебного плана специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство».

Основной целью преподавания дисциплины в соответствии с Образовательным стандартом [11] является подготовка квалифицированных специалистов, владеющих теоретическими основами и научными методами организации, планирования и управления возведением строительных объектов и организации управления строительным производством в строительном-монтажных организациях, базирующимися на научных достижениях и передовом опыте.

Дисциплина изучается студентами дневной и заочной формы получения образования на протяжении двух семестров. Для студентов дневной формы предусматривается проведение лекций в общем объеме 64 часов, практических занятий – 48 часов, курсовое проектирование, сдача зачёта и экзамена.

С целью создания условий для самостоятельной работы студентов разработан *электронный учебно-методический комплекс (УМК)*. Он позволяет обеспечить качественное методическое сопровождение процесса обучения будущих инженеров-строителей современным знаниям в области организации и управления в строительстве, организовать эффективную самостоятельную работу обучающихся, а также сформировать информационно-коммуникативную среду для взаимодействия участников образовательного процесса на базе использования современных компьютерных технологий.

УМК включает четыре взаимосвязанных раздела: теоретический, практический, раздел контроля знаний и вспомогательный раздел. Теоретический раздел УМК представлен электронным конспектом лекций. В теоретическом разделе также приведены компьютерные презентации лекций по всем темам (*лекции-визуализации*) и электронный глоссарий. Для достижения наглядности и лучшего усвоения студентами материала в презентациях сделан акцент на преимущественное использование рисунков, схем, таблиц.

Практический раздел УМК содержит в электронном методические материалы для проведения практических занятий на протяжении двух семестров обучения, разбитые по темам занятий, а также списки рекомендуемой для самостоятельной работы литературы.

В практический раздел УМК также включены материалы для выполнения курсового проекта по теме «Организационно-технологическое проектирование в составе ПОС и ППР».

Раздел контроля знаний УМК содержит материалы для аттестации студентов: перечни вопросов к зачету и экзамену, а также варианты тестовых заданий для подготовки к сдаче зачета. *Экзаменационный тест* размещен в системе тестирования БрГТУ. В указанной системе тестирования также размещены тесты по отдельным темам учебной программы, рекомендуемые для самостоятельной подготовки студентов. Все тесты доступны в сети Интернет, а также подключены в режиме тренинга, то есть обучающиеся имеют возможность самостоятельно оценить свой уровень подготовки и устранить «пробелы» в знаниях.

При проведении аудиторных занятий по дисциплине используются *проблемно-поисковые методы*: проблемная лекция, эвристическая беседа. Данные методы применяются в комплексе с компьютерными презентациями.

При курсовом проектировании по дисциплине применяется *метод проектов*, в ходе которого студентами решаются информационно-исследовательские и технологические задачи.

Для проведения практических занятий разработаны *рабочие тетради* в двух частях [12, 13]. В первой части изложены на конкретных примерах основные теоретические положения курса (поточная организация строительства, сетевое моделирование), имеющие широкое применение в мировой практике строительного производства. Во второй части кратко изложены положения по разработке линейной организационной модели строительства комплекса объектов и выполнению расчетов в составе проекта организации строительства (ПОС).

Материал сгруппирован по темам в соответствии с содержанием практических занятий. Представление материала в форме рабочих тетрадей оптимизирует использование времени аудиторных занятий и создает условия для самостоятельной подготовки студентов к ним.

При преподавании дисциплины широко используются *наглядные методы*: *рисунки, чертежи, блок-схемы, интеллект карты*. С одной стороны, это связано со спецификой дисциплины, поскольку ее предмет предусматривает построение графических изображений: линейных, сетевых графиков, циклограмм, календарных планов, строительных генеральных планов. С другой стороны, - с большим объемом изучаемого материала и необходимостью его систематизации.

К разработке блок-схем и интеллект-карт привлекаются студенты. Примеры интеллект-карт для отражения процесса проектирования строительного генерального плана представлены на рисунках 1, 2. Таким образом, студенты участвуют в учебно-методическом процессе кафедры и одновременно повышают свой уровень усвоения материала, приобретают новые навыки, которые смогут использовать в профессиональной деятельности.

Метод интеллект-карт применяется также на оценочном этапе учебного процесса, исключая списывание на экзамене и предоставляя возможность преподавателю объективно оценить уровень знаний студента.

В настоящее время ведется работа по внедрению системы Moodle при изучении дисциплины студентами дневной и заочной формы получения образования.

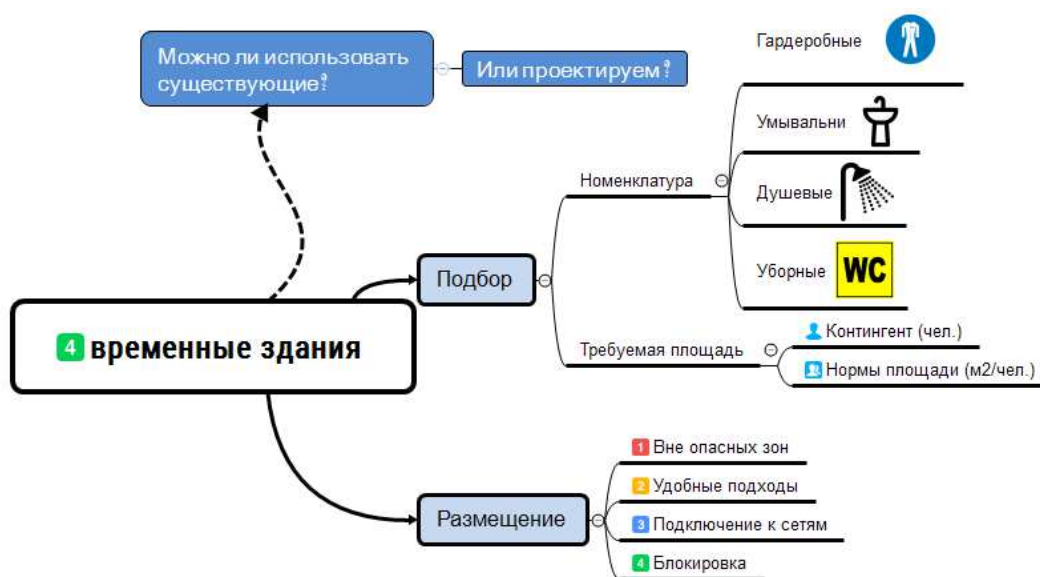


Рисунок 1. – Интеллект-карта «Расчет временных зданий»

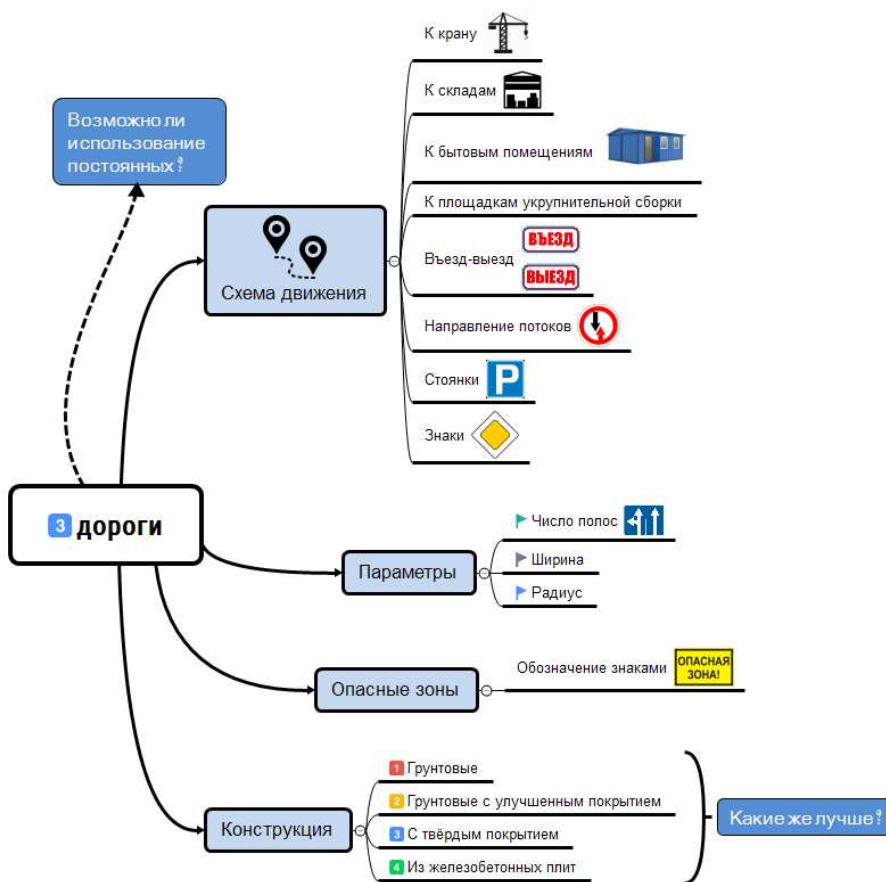


Рисунок 2. – Интеллект-карта «Проектирование временных дорог»

**Заключение.** В современном обществе существует запрос на инновации и повышение качества и результативности обучения. В образовании инновации могут иметь технологическую, экономическую, организационную и педагогическую направленность.

При освоении инженерных дисциплин большую роль играют наглядность представления рассматриваемого материала, систематизация больших объемов информации научного и нормативно-справочного характера, значителен потенциал проблемно-поисковых методов обучения.

Так, при изучении курса «Организация и управление в строительстве» в учреждении образования «Брестский государственный технический университет» активно применяются лекции-визуализации, рисунки, чертежи, блок-схемы, интеллект-карты, а также тренинги для самоподготовки студентов и тестирование для мониторинга уровня усвоения материала и аттестации по дисциплине.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глоссарий современного образования / Нар. укр. акад. ; сост В. И. Астахова [и др.] ; под общ. ред. Е. Ю. Усик. – 2-е изд., перераб. и доп. – Харьков : Издательство НУА, 2014. – 532 с.
2. Педагогика : учебник и практикум для академического бакалавриата / Л. С. Подымова [и др.] ; под общей редакцией Л. С. Подымовой, В. А. Сластенина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 246 с.–Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/bcode/431854>. – Дата доступа: 20.05.2019.
3. Анохина, Л. В. Применение скрайбинг-технологии в вузе / Л. В. Анохина // Научно-практический электронный журнал Аллея Науки [Электронный ресурс]. – 2018. – № 5(21). – Режим доступа: [Alley-science.ru](http://Alley-science.ru). – Дата доступа: 20.05.2019.
4. Канашевич, Т. Н. Инновационные методы визуализации информации как условие повышения эффективности подготовки современного специалиста / Т. Н. Канашевич, В. А. Бумаго // Непрерывная система образования «школа – университет». Инновации и перспективы : сборник статей II Международной научно-практической конференции, 22-23 февраля 2018 г. ; редкол.: О. К. Гусев [и др.] / БНТУ, Институт интегрированных форм обучения и мониторинга образования. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 116 – 118.
5. Новиков, А. М. Методология: словарь системы основных понятий / А. М. Новиков, Д. А. Новиков – М. : Либроком, 2015. – 208 с.
6. Томина, Т. С. Роль проблемно-поисковых методов при организации проблемного обучения студентов [Электронный ресурс] / Т. С. Томина // Инновационная наука. – 2015. – №5-2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-problemno-poiskovyh-metodov-pri-organizatsii-problemnogo-obucheniya-studentov>. – Дата доступа: 21.05.2019.
7. Клещева, И. В. Организация проблемного обучения студентов при освоении образовательной программы [Электронный ресурс] / И. В. Клещева // Экономика и экологический менеджмент. – 2014. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-problemnogo-obucheniya-studentov-pri-osvoenii-obrazovatelnoy-programm>. – Дата доступа: 21.05.2019.
8. Симонов, В. П. Педагогика и психология высшей школы. Инновационный курс для подготовки магистров : учеб. пособие / В. П. Симонов. – М. : Вузовский учебник, ИНФРА-М, 2015. – 320 с.
9. Бьюзен, Т. Супермышление / Т. Бьюзен, Б. Бьюзен ; пер. с англ. – Мн. : ООО «Попурри», 2018. – 272 с.

- 10.Ижденева, И. В. Роль ассоциативных ментальных карт в процессе обучения студентов информатике / И. В. Ижденева // Педагогическое образование в России. – 2015. – № 4. – С. 29-37.
- 11.ОСВО 1-70 02 01-2013. Образовательный стандарт высшего образования. Высшее образование. Первая ступень. Специальность 1-70 02 01 Промышленное и гражданское строительство.
- 12.Рабочая тетрадь для выполнения практических работ по дисциплине «Организация и управление в строительстве» для студентов строительных специальностей I и II ступеней высшего образования дневной и заочной форм обучения и слушателей ИПК и П : в 2 ч. Ч. 1 / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра экономики и организации строительства ; сост. Е.И. Кисель, Л. Г. Срывкина. – Брест : БрГТУ, 2016. – 58 с.
- 13.Рабочая тетрадь для выполнения практических работ по дисциплине «Организация и управление в строительстве» для студентов строительных специальностей I и II ступеней высшего образования дневной и заочной форм обучения и слушателей ИПК и П : в 2 ч. Ч. 2 / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра экономики и организации строительства ; сост. Е.И. Кисель, Л. Г. Срывкина. – Брест : БрГТУ, 2017. – 28 с.

УДК 378:004

## РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОЕКТОВ В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ

**А.В. Василевский**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: a.vasilevsky@psu.by

*В статье рассматриваются актуальные проблемы реализации метода проектов в подготовке инженеров-строителей. В качестве примера рассматриваются проекты, выполняющиеся в процессе обучения по дисциплинам, связанным с использованием информационных технологий, на инженерно-строительном факультете Полоцкого государственного университета.*

**Ключевые слова:** образовательный процесс; инновация; инновации в образовании; инновационные подходы; инновационные технологии; метод проектов.

## IMPLEMENTATION OF THE PROJECT METHOD IN THE TRAINING OF CIVIL ENGINEERS

**A. Vasilevsky**

Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus

e-mail: a.vasilevsky@psu.by

*This article discusses current problems of the project method in the education of construction engineers. As an example, the article discusses the projects carried that is used to teach information technology at the Construction Engineering Department of Polotsk State University.*

**Keywords:** educational process; innovation; innovations in education; innovative approaches; innovative technologies; project method.

Метод проектов является одним из существенно важных способов реализации деятельности и практико-ориентированного подходов в высшем образовании. В качестве деятельностного этот метод побуждает учащихся проявлять активность, что позволяет им в значительно большей степени, чем при традиционном «пассивном» подходе к учению, усваивать необходимые знания, приобретать навыки, и, в конечном итоге, компетенции. При этом, применение данного метода позволяет получить кроме академических компетенций также и социально-личностные компетенции, такие, как способность к межличностным коммуникациям и умение работать в команде. В качестве практико-ориентированного метод проектов позволяет студентам на самой ранней стадии приобщаться к деятельности полезной, максимально приближенной к будущей профессиональной деятельности, что не может не обеспечить необходимую мотивацию учебной деятельности; к тому же работа над учебными проектными задачами, имеющими отношение к реальной практике проектировщика (инженера, архитектора), дает замечательные возможности по обретению профессиональных компетенций.



Однако, по словам современных исследователей, «успешное внедрение проектного обучения в работу высшей школы связано с последовательной модернизацией структуры и содержания образовательного процесса и преодолением существующих стереотипов вузовского обучения» [1]. Более того, по утверждению доктора педагогических наук, профессора В.А. Капрановой (БГПУ), «Когда университет делает ставку на проектное обучение, абсолютно очевидно, что это требует иной организации образовательного процесса» [1].

То есть, просто дополнить традиционный учебный процесс, добавив обязательное использование учебных проектов буквально в каждую дисциплину каждого курса каждой специальности, невозможно без неизбежного снижения качества результатов обучения. При таком подходе к внедрению метода проектов резко возрастает нагрузка на студентов и преподавателей, и эта проблема решается либо поверхностным подходом ко всем учебным заданиям со стороны студентов, либо принципиальным изменением подхода к формированию учебной нагрузки, при котором во-первых, метод проектов применяется не во всех дисциплинах учебного плана, но только в тех дисциплинах, на тех курсах и специальностях, где применение его действительно оправданно и целесообразно, и, во-вторых, при реализации метода проектов часть аудиторной нагрузки переводится из статуса обычных «лекций» и «практических работ» в статус «установочных», «консультационных» и «результатирующих» занятий. Правда, такое изменение подхода к формированию учебной нагрузки в свою очередь приводит к снижению качества результатов обучения, если не сопровождается достаточным увеличением часов аудиторной нагрузки, чтобы компенсировать потери времени и не допустить существенного сокращения и упрощения содержания программы дисциплины.

Важно также избегать «чрезмерного увлечения методом проектов в ущерб другим методикам обучения» [2] по целому ряду причин, и, в частности вследствие «существенных затрат времени» на выполнение учебного проекта, «нечеткости критериев оценки отслеживания результатов работы над проектом; невозможности оценить реальный вклад каждого участника группового проекта; ...недостаточности исследовательских навыков у студентов, особенно первых курсов университета; неравномерности освоения учебного материала, особенно по сравнению с объяснительно-иллюстративным методом обучения» [2].

При этом обязательно надо учитывать, что в случае реализации групповых проектов многое зависит от первоначального уровня коммуникативных способностей учащихся, который может быть недостаточным [3]. Конечно, этот уровень должен повышаться при использовании метода проектов, но качественное, достаточное повышение этого уровня будет достигнуто далеко не сразу, вследствие чего применение метода проектов может оказаться неэффективным, особенно на первых курсах.

При разработке и осуществлении учебных проектов целесообразно учитывать существующие разработки и примеры, представленные в научно-педагогических изданиях Республики Беларусь, например, работу Л.И. Молчиной «Проектный метод обучения при изучении дисциплин компьютерного цикла» [4], которая предлагает варианты учебных проектов, реализуемых в процессе преподавания дисциплины «Информатика» и других базовых дисциплин этого типа.

Рассмотрим возможные варианты реализации метода проектов в рамках изучения дисциплин, связанных с освоением информационных технологий в архитектурном и строительном проектировании. Прежде всего здесь имеются в виду дисциплины:

- «Информатика и компьютерное проектирование» (изучаемая студентами специальности «Архитектура»);
- «Основы автоматизации проектирования в строительстве» (изучаемая студентами специальности «Промышленное и гражданское строительство»);
- «Информационные технологии в управлении недвижимостью» (изучаемая студентами специальности «Экспертиза и управление недвижимостью»);
- «Компьютерное проектирование», «Компьютерное проектирование систем водоснабжения и водоотведения» (изучаемые студентами специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»);
- «Автоматизированное проектирование систем теплогасоснабжения и вентиляции» (изучаемая студентами специальности «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»);
- «Системы автоматизации проектирования автомобильных дорог» (изучаемая студентами специальности «Автомобильные дороги»).

Приводимые здесь варианты реализации учебных проектов частично были осуществлены или осуществляются при преподавании соответствующих дисциплин на инженерно-строительном факультете Полоцкого государственного университета.

Если очень коротко определить основные цели преподавания вышеназванных дисциплин, эти цели можно разделить на три группы:

- 1) обретение компетенции, которую можно определить, как особое мышление проектировщика, работающего с технологическими средствами САПР и BIM (так как процесс автоматизированного проектирования существенно отличается от процесса обычного проектирования, и требует поэтому совершенно особых подходов и навыков);
- 2) обретение компетенций, связанных с проектированием непосредственно с помощью определенного, избранного прикладного программного пакета;
- 3) обретение компетенций, позволяющих осуществлять обоснованный выбор, подбор программного обеспечения и прочих средств обеспечения САПР, наилучшим образом удовлетворяющих поставленной перед проектировщиками задаче, группе задач. Данная группа компетенций, в частности, предполагает умение анализировать существующие средства обеспечения и программные продукты, умение проводить сравнительный анализ.

Именно в достижении студентами этой третьей группы компетенций существенную помощь может оказать использование метода проектов (групповые проекты); вторая группа компетенций требует реализации индивидуальных проектов (если, конечно, для этого имеются возможности – достаточное количество аудиторных часов, лабораторных и практических занятий). Обретение первой из вышеназванных групп компетенций не предполагает использование метода проектов.

Таким образом, возможна (или имеет место) реализация следующих двух типов проектов.

### 1. Проект «Выбор программного продукта для решения поставленной проектной задачи».

*Тип проекта* (по признаку доминирующей деятельности): ознакомительно-ориентировочный и практико-ориентированный (информационный и прикладной).

*Тип проекта* (по предметно-содержательной области): межпредметный. Решая поставленную задачу обоснованного выбора, студенты должны подробно ознакомиться с актуальными на нынешний день программными комплексами, их возможностями, достоинствами и недостатками. Для этого необходимо сочетать знания дисциплин «Информатика», специальной дисциплины, изучающей автоматизацию проектирования и BIM для данной специальности, а также специальные дисциплины, касающиеся проектирования: создания архитектурных проектов, проектов систем водоснабжения, проектов автомобильных дорог и т.д.

*Масштаб применения:* групповой проект. Над проектом работают студенты одной группы, разбившись на малые группы по 5-7 человек в каждой; каждой малой группе поручается своя часть общего проекта: разработка критериев оценки, анализ одного из существующих вариантов программного средства и т.д.

*Продолжительность:* обычно – в течение одного семестра.

*Цели проекта:* осуществить обоснованный выбор средств обеспечения САПР (и, в частности, программного комплекса) для решения поставленных проектных задач. Задачи могут быть очерчены широко, а могут и узко, например, выбор можно осуществлять с точки зрения проектировщика определенного типа объектов, специалиста по реконструкции, специалиста по экспертизе и т.д.

*Методические цели проекта:* обретение профессиональных компетенций, означенных выше (третья группа), установление, осознание студентами межпредметных связей, что позволит им воспринимать получаемые знания и компетенции как единое целое, а не как набор не связанных между собой фактов и методов; обретение социально-личностных компетенций, таких, как умение работать в команде и т.д.

*Форма представления проекта:* мультимедийная презентация, устный доклад.

*Работа над проектом:*

– на этапе *подготовки* студенты с помощью преподавателя определяют цели проекта и критерии оценки, обсуждают требования к проекту. Основы анализа программных продуктов, в частности, принимаются в соответствии с действующими в нашей стране на данный момент нормативными документами, например, ГОСТ 23501.101-87 «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения», ГОСТ 23501.108-85 «Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение», а также имеющий справочный характер РД 50-680-88 «Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения»;

– на этапе *планирования* студенты делятся на малые группы и распределяют проектные задачи между участниками; определяют способы сбора, обобщения и анализа информации;

– на последующих этапах студенты собирают, обобщают и анализируют информацию, выполняют оформление результатов и подготовку представления проекта (части

проекта); на всех этапах преподаватель консультирует студентов, уточняет и направляет процесс работы над проектом, осуществляет промежуточный контроль;

– на этапе *представления* студенты представляют проект или части проекта по группам, а затем следует дискуссия – обсуждение и оценка проекта согласно заранее определенным критериям.

**2. Проект «Создание проекта здания (сооружения, объекта недвижимости, инженерных сетей и т.д.)».**

*Тип проекта* (по признаку *доминирующей деятельности*): практико-ориентированный (прикладной).

*Тип проекта* (по *предметно-содержательной области*): межпредметный. Решая поставленную задачу создания проекта, студенты применяют на практике знания (полученные в рамках освоения специальной дисциплины, рассматривающей автоматизацию проектирования и BIM для данной специальности) при изучении определенного программного продукта, при помощи которого они осуществляют проектирование, а также специальные знания, полученные во время освоения дисциплин, изучающих проектирование: архитектурное проектирование, проектирование систем теплоснабжения, проектирование транспортных сооружений и т.д.

*Масштаб применения*: индивидуальный проект. Наиболее оптимальным является участие в разработке проекта одного студента, так как выполнение его непосредственно связано с работой в компьютерной программе, и очень важно, чтобы каждый студент получил необходимый опыт в работе над проектом.

*Продолжительность*: в зависимости от объема проекта – от нескольких недель до целого семестра.

*Цели проекта*: выполнить (создать) проект здания (сооружения, инженерной системы и т.д.) в соответствии с поставленной проектной задачей (техническим заданием на проектирование). Задача может быть масштабной (проект крупного сооружения), а может и малой, например, проектирование коттеджа, или даже части здания.

*Методические цели проекта*: обретение профессиональных компетенций, означенных выше (вторая группа), установление, осознание студентами межпредметных связей, что позволит им воспринимать получаемые знания и компетенции как единое целое, а не как набор не связанных между собой фактов и методов.

*Форма представления проекта*: комплект чертежей, трехмерная модель (BIM), мультимедийная презентация, устный доклад.

*Работа над проектом*:

– на этапе *подготовки* студенты с помощью преподавателя определяют цели проекта и критерии оценки, обсуждают требования к проекту;

– на этапе *планирования* студенты определяют способы сбора, обобщения и анализа информации необходимой для проектирования;

– на последующих этапах студенты собирают, обобщают и анализируют информацию, выполняют проект в программном комплексе и подготовку представления проекта (формируют, в зависимости от возможностей используемой программы, пространственную модель с нужным уровнем детализации, мультимедийную презентацию, «ви-

деоролик» и т.д.); на всех этапах преподаватель консультирует студентов, уточняет и направляет процесс работы над проектом, осуществляет промежуточный контроль;

– на этапе *представления* студенты представляют на общем занятии (нескольких занятиях) свои проекты с помощью видеодисплейных терминалов, по каждому проекту следует дискуссия – обсуждение и оценка проекта согласно заранее определенным критериям.

Работа по внедрению метода проектов в учебный процесс подготовки студентов архитектурных и инженерных специальностей будет продолжена. В перспективе следует уделить внимание возможности использования, пока в качестве эксперимента, метода проектов для студентов заочной формы обучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Капранова, В.А. Технология проектного обучения в современном образовательном контексте // Репозиторий БГПУ. Серия 1. Педагогіка. Психологія. Філологія [Электронный ресурс]. – №2 Режим доступа: <http://elib.bspu.by/handle/doc/8593>. – Дата доступа: 27.10.2019
2. Зерщикова, Т.А. О способах реализации метода проектов в вузе // Проблемы и перспективы развития образования: материалы междунар. науч. конф. (г. Пермь, апрель 2011 г.). Т. II. – Пермь: Меркурий, 2011. – С. 79-82.
3. Касьяник, Е.Л. Метод проектов: от теории к практике // Мастерство online [Электронный ресурс]. – 2015. – 4(5). Режим доступа: <http://ripo.unibel.by/index.php?id=913>. – Дата доступа: 27 10. 2019
4. Молчина, Л.И. Проектный метод обучения при изучении дисциплин компьютерного цикла // Инновационные образовательные технологии. – 2007. – №3(11). – С. 80-83.

УДК 378.016

ОПЫТ РАБОТЫ КАФЕДРЫ ДИЗАЙНА ПО ПОПУЛЯРИЗАЦИИ  
ИСТОРИЧЕСКОГО И КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ  
(НА ПРИМЕРЕ ДИПЛОМНЫХ И КУРСОВЫХ РАБОТ  
ПО ГРАФИЧЕСКОМУ И СРЕДОВОМУ ДИЗАЙНУ)

*В.В. Кучеровская, А.Н. Рычкова*

Псковский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: kucherovskaya@yandex.ru

*В статье рассматриваются курсовые и дипломные проекты, связанные с историко-культурным наследием Пскова.*

*Ключевые слова: историко-культурное наследие, популяризация, курсовое и дипломное проектирование, графический и средовой дизайн*

EXPERIENCE OF THE DESIGN DEPARTMENT IN PROMOTION OF HISTORICAL  
AND CULTURAL HERITAGE (BASED ON THESES AND COURSE WORKS ON  
GRAPHIC AND INTERIOR DESIGN)

*V. Kucherovskaya, A. Rychkova*

Pskov state University, Russian Federation

e-mail: kucherovskaya@yandex.ru

*The paper deals with students' course works and theses related to historical and cultural heritage of the city of Pskov, Russia.*

*Keywords: promotion of historical and cultural heritage, theses and course works, graphic and interior design*

«Культура каждого народа, большого и малого, имеет право на сохранение своей уникальности и самобытности. Вся совокупность явлений и продуктов материальной и духовной культуры народа составляет органичное единство, нарушение которого ведет к утрате гармоничной целостности всей национальной культуры» [1].

Сохранение и популяризация культурного наследия имеют в современном обществе все возрастающее значение. Особого внимания заслуживают формы включения этой работы в учебный процесс. Псков – древний город с богатейшей историей, поэтому так или иначе деятельность университета нацелена на сохранение и популяризацию культурно-исторического наследия региона.

Значительная часть курсового и дипломного проектирования на кафедре дизайна связана с разработкой дизайн-концепций интерьерных пространств. Нередко эти объекты находятся в насыщенном историческом и культурном контексте. В таких случаях работа ведётся с опорой на особенно тщательные предпроектные исследования, анализ существующей исторической ситуации, длительный сбор материала по выбранной теме.

Одним из таких дипломных проектов стала разработка интерьеров бани в памятнике архитектуры XIX в. «Бани торговые И. Гельдта в г. Пскове». Работа над проектом началась во время преддипломной практики в институте по реставрации памятников истории и культуры ФЛ ФГУП «Спецпроектреставрация». Период прохождения практики совпал с проводимыми в Гельдтовых банях исследовательскими и ремонтно-реставрационными работами. Дизайн-проект был нацелен на обновление интерьера бань с сохранением основных функций при условии изменения планировочного решения и повышения статуса объекта. Бани расположены в историческом центре города, в одном из самых живописных его уголков. В рамках дипломного проектирования было принято решение подчеркнуть архитектурные особенности здания XIX века, а также сформулировать дизайн-концепцию, созвучную традиционным работам псковских мастеров. Проектом предусмотрено использование характерных для древнерусского стиля и творчества псковских мастеров элементов декора – изразцов, геометрических орнаментов, имитации рушников. Разработана деревянная мебель с декоративными резными вставками.

Если вышеописанная работа подразумевала сохранение исторического функционального назначения объекта, то дизайн-проект интерьера ресторана в здании канатной фабрики Г. Ю. Мейера нацелен на решение проблемы нового использования помещений памятника архитектуры нач. XX века. Концепция проекта основана на разработке интерьеров в стадии предпроектных предложений без учёта мер по комплексной реставрации, на основе данных обмеров и фотофиксации. Проектом предусмотрено выявление в интерьере хорошо сохранившихся элементов несущих конструкций, кирпичной кладки в сочетании с современными материалами. В соответствии с дизайн-концепцией значимыми элементами интерьера являются потолочные каминные вставки в форме старых заводских труб, которые организуют вокруг себя пространство банкетного зала. Весьма иронично в проекте предлагается использовать в качестве столиков большие деревянные катушки. Комплекс зданий канатной фабрики находится в исторической части города на берегу реки Псковы, и данная работа нацелена на актуальное переосмысление представлений о назначении исторических производственных зданий, их эстетической ценности, на сохранение объекта и его активное включение в современную городскую инфраструктуру.

Дипломные работы, направленные на формирование комфортной среды самого университета, во многом связаны с необходимостью сохранения исторического наследия города, поскольку часть учебного процесса проходит в корпусах, расположенных в зданиях XIX века. В частности, к таким работам можно отнести дизайн-проект зоологического музея ПсковГУ, предусматривающий обновление и расширение существующего музея естественно-географического факультета – одного из старейших факультетов Псковского государственного университета. Проект был нацелен на решение проблемы интегрирования новых технологий в исторические интерьеры здания XIX века в соответствии с новыми требованиями, предъявляемыми к оборудованию музейных пространств. Поскольку помещения музея многофункциональны и являются не только экспозиционными залами, но и лекционными аудиториями, в проекте используется боль-

шое количество трансформируемых элементов интерьера. По этой же причине особое внимание уделяется освещению: используются различные источники света, которые выполняют одновременно несколько функций. Проектом предусмотрено сохранение в интерьере стиля академической классики, насколько это возможно в современных условиях.

Отдельную область средового проектирования составляют работы, связанные с формированием экспозиций для музеев и различных выставочных мероприятий. К числу таких проектов можно отнести разработку дизайн-концепции музейной экспозиции «Чудское озеро» для краеведческого музея города Гдова. Работа выполнялась с учётом перспектив реконструкции здания музея, освоения дополнительных площадей и включала в себя разработку пространственного и цветового решения экспозиции. В рамках проекта разработан визуально-графический стиль музея, сформулирована концепция оформления двух выставочных помещений, их предметного наполнения. В основе решения лежит авторская концепция создания музейной экспозиции Чудского озера, автором которой является Надежда Леонидовна Сингатуллова – действующий директор музея. Основная мысль этой концепции заключается в том, что Чудское озеро – это уникальный природный ресурс, сформировавший микроклимат, флору и фауну данной территории, определивший пути движения и развития торговли, сформировавший этнокультурную уникальность этого края. Поэтому экспозиция охватывает значительный временной период, многообразна по составу тем и особенностям выставочных экспонатов. Исходя из этого проектом предусмотрено максимальное функциональное насыщение всего пространства интерьера и ограждающих его поверхностей. Целостность дизайн-концепции достигается повтором стилеобразующих элементов и композиционных приёмов, использованием сквозного цвета, а также базовых текстур и материалов, ассоциирующихся у зрителя с водной стихией.

В условиях небольшого города сфера деятельности дизайнера, по объективным причинам, не может быть ограничена определёнными направлениями и включает в себя не только графический дизайн и предметно-пространственное проектирование интерьеров, но и работу с открытыми пространствами, с городской средой. Одним из наиболее ярких и значимых проектов в этой области стала разработка визуально-графической системы для Пскова, включающей объекты городского ориентирования и рекламно-информационные объекты. В неё вошла разработка колористического и типографического решения, пиктограмм, а также единой концепции образно-стилевого решения информационных объектов. Поиск единого дизайн-кода – тема весьма актуальная для любого современного российского города, и Псков здесь не является исключением. На данный момент в городе ощущается отсутствие единой стилистики в городской навигации, не хватает информационных установок, что значительно усложняет ориентирование в городе как для местных жителей, так и для туристов. Реализация единой, качественной дизайн-концепции может способствовать дальнейшему развитию Пскова как культурно-туристического центра, исторически важного для России, города-ансамбля, насыщенного памятниками архитектуры, которые важно не только сохранять, но и популяризировать. В проекте большое внимание уделяется выбору колористического реше-



ния. При этом учитывалась общая цветовая палитра города и ассоциативный ряд, связанный с его историей. Сердце Пскова – место слияния двух рек – Псковы и Великой. Панорама города, Кром, храмы Пскова, находящиеся на берегу этих рек, навсегда остаются в памяти туристов. Оттенки синего и голубого символизируют водные глубины в сочетании с цветом чистого неба. Кроме того, проектом предусмотрено использование специально разработанных пиктограмм. Выбор стилистики их тектонического решения – контурная, рукотворная линия одной толщины – не случаен и в полной мере соответствует отличительным визуальным чертам памятников фортификационной, культовой и гражданской архитектуры Пскова. Разработанные пиктограммы могут стать основой для разработки паттерна – бесшовного рисунка для сувенирной продукции. На основе выбранного цветового и типографического решения разработаны макеты полиграфической продукции различных видов, мелкого и широкого форматов, готовые решения для носителей информации в городской среде – информационных стендов, установок для медиа, указателей, аншлагов и других элементов навигации. Разработанный дизайнерский шаблон подразумевает вариативность использования в городской среде, на различных поверхностях и форматах.

Задания по графическому дизайну также нацелены на изучение и популяризацию различных сторон культурно-исторического наследия.

Примером может послужить курсовой проект студентов третьего курса Сумкиной Я. и Федоровой А. «Настольная игра «Как по городу по Пскову».

Тема данного проекта появилась после выполнения студентами курсовых работ по изучению памятников псковского зодчества, включающих разработку авторских буклетов и мини-экскурсий, в рамках дисциплины «История искусства». При создании игры перед авторами стояла задача создать интересный вариант знакомства с достопримечательностями древнего Пскова, разработать дизайн различных компонентов игры (игровое поле, карточки, упаковка). В настольную игру «Как по городу по Пскову» авторы добавили специальные карточки с элементами Псковского фольклора (частушки, скороговорки и др.) и декоративно-прикладного искусства, что расширило культурологический аспект и формат игры.

Также заслуживает внимания курсовой проект Герасимович Е. и Кононовой А. «Настольная игра, посвященная международному Ганзейскому союзу». Цель проекта – популяризация истории Ганзейского союза, и роли Пскова в нем. Задача – интересно и доступно рассказать об исторических процессах, происходивших в Ганзейской Европе.

Система героев игры была создана на основе упомянутых в научных статьях словениях, персонажах, событиях. Костюмы имеют реальные прототипы, представленные в книге Д. Нанн «История костюма».

Популяризации наследия материальной культуры Псковского края, доступности информации для людей разных возрастов и интересов был посвящен дипломный проект Истоминой П. и Аткачевой Е. «Разработка оформления словаря «Традиционный быт псковских крестьян». Студентами была проведена большая работа по иллюстрированию специальных терминов, употреблявшихся в ткачестве и одежде псковских крестьян прошлых веков, что потребовало изучения музейных коллекций и фондов.

Работы, связанные с сохранением и популяризацией культурного и исторического наследия региона, безусловно, являются одними из самых трудных. Как правило, таким проектам на защите уделяется особое внимание, мнение специалистов и непрофессионалов о результатах подобных работ в большинстве случаев очень разное, порой противоречивое. Но неизменным остаётся тот факт, что при движении в этом направлении на пути возникает множество трудных задач, а значит необходимо искать пути к их решению, в том числе в студенческих проектах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Декларация прав культуры и ее международное значение // День науки в Санкт-Петербургском Гуманитарном университете профсоюзов: материалы конф., 23–24 мая 1996 г. / ФНПР, Федерация профсоюзов Санкт-Петербурга и Ленингр. обл., СПбГУП; отв. ред. В. Е. Триодин. – СПб., 1996. – С. 35–37.

УДК 378.147

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «АРХИТЕКТОНИКА ОБЪЕМНЫХ ФОРМ»  
СТУДЕНТАМ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ «ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРОВ»

**Д.Д. Жуков**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: d.zhukau@psu.by

*В статье рассматриваются особенности преподавания учебной дисциплины «Архитектоника объемных форм» будущим дизайнерам интерьеров. Эта дисциплина отличается явно выраженной практической направленностью, поэтому она подразумевает адекватное изучение теории, в первую очередь понятийного аппарата. Практическая часть включает в себя пять или шесть практических работ с ориентированными именно на дизайн интерьеров объектами разработки. При этом важное значение имеют не только экспозиционные макеты, но и макеты рабочие (поисковые), пояснительные записки, а также этапы выполнения каждой работы. Необходимое улучшение теоретической части и оптимизация дисциплины в целом выполняется в ходе создания соответствующего учебно-методического комплекса.*

**Ключевые слова:** *архитектоника, архитектоника объемных форм, дизайн, дизайн предметно-пространственной среды, дизайнер интерьеров, теория, практическая работа*

FEATURES OF TEACHING  
THE DISCIPLINE "ARCHITECTONICS OF VOLUMETRIC FORMS"  
TO STUDENTS OF THE SPECIALIZATION "INTERIOR DESIGN"

**D. Zhukau**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: d.zhukau@psu.by

*The article discusses the features of teaching the discipline "Architectonics of volumetric forms" to future interior designers. This discipline is distinguished by a clearly expressed practical orientation, therefore, it implies an adequate study of the theory, primarily the conceptual apparatus. The practical part includes five or six practical works with objects of development oriented specifically for interior design. At the same time, not only the exposure models are important, but also the working (search) models, explanatory notes, as well as the stages of each work. The necessary improvement of the theoretical part and optimization of the discipline as a whole is carried out during the creation of the corresponding educational and methodological complex.*

**Keywords:** *architectonics, architectonics of volumetric forms, design, design of the subject-spatial environment, interior designer, theory, practical work*

Важное место в подготовке дизайнеров специализации «Дизайн интерьеров», относящейся к специальности «Дизайн» и направлению специальности «Дизайн (предметно-пространственной среды)», занимает *на первой ступени высшего образования* учебная дисциплина «Архитектоника объемных форм». Она является для указанного направления специальности *государственным компонентом цикла специальных дисциплин* [1, с. 6 и 16]. Вместе с тем достаточной определенности в отношении того, как преподавать эту дисциплину, пока нет.

Не в последнюю очередь такое положение вещей обусловлено довольно расплывчатым описанием архитектоники объемных форм в образовательном стандарте [1, с. 40–41], которое по своей сути мало чем отличается от описания в том же источнике дисциплины «Архитектоника» [1, с. 47–48]. Очевидно, при наличии подобной неопределенности особую актуальность приобретают комментарии его разработчиков, которые разъясняют положения стандарта. Но таких комментариев пока нет, и в определенной мере вследствие этого обстоятельства в реальной образовательной практике нередко смешиваются, в частности, понятия «архитектоника», «архитектоника объемных форм», «тектоника» и «композиция», а обучение дизайнеров интерьеров дисциплине «Архитектоника объемных форм» может вестись в чисто архитектурном ключе.

Отчасти это объясняется и тем, что дизайн сам по себе сравнительно новое явление и его теория находится в стадии становления. Тем более это относится к такому направлению дизайна, как дизайн предметно-пространственной среды, одним из более или менее конкретных проявлений которого выступает дизайн интерьеров. Характерно, что в настоящее время последний, как и дизайн в целом, не имеет даже общепринятого международного определения. Вряд ли отмеченные моменты способствуют эффективному использованию богатых потенциальных возможностей дизайна. А ведь, помимо многого не самого лучшего прочего, мир перманентно становится сложнее, экологическая обстановка на планете неуклонно ухудшается, новые технологии не только радуют, но и пугают человечество.

Вместе с тем именно с дизайном, в т. ч. дизайном интерьеров, люди связывают свои ожидания адекватной вызовам времени *трансформации* предметно-пространственной среды, ее гармонизации и гуманизации. Под *гармонизацией* можно понимать процесс исправления, улучшения, совершенствования среды за счет в первую очередь художественных и функционально-технических средств, инструментов дизайна. *Гуманизация* же в значительной степени отражает стремление к экологичности, эргономичности и безопасности дизайнерских объектов, среди которых и разнообразные интерьеры.

Современный дизайн интерьеров, призванный служить одним из специфических проектно-культурных регуляторов постиндустриального общества, развивается вместе с ним. Но лишь при синхронном, взаимосвязанном развитии целого (наука и технологии, архитектура, дизайн) и частного (дизайн интерьеров) обеспечивается максимально высокое качество предметно-пространственной среды. К сожалению, нередко бывает, что интерьеры не отражают не только последние, но и хорошо известные достижения в области науки и техники. Это связано с тем, что создатели таких интерьеров, на словах от-

давая должное инновациям, на деле их игнорируют и видят свое предназначение лишь в наделении предметно-пространственной среды красотой, как ее понимает художник – представитель изобразительных искусств.

Между тем настоящим дизайнерам интерьеров суждено олицетворять, персонафицировать искусство особого рода. Так, авторитетный искусствовед М. Каган причислил дизайн, как прикладные искусства и архитектуру, к *архитектоническим искусствам*; по его мнению, «... в дизайне, как и в самой архитектуре, архитектурная связь элементов образа *независима от какой-либо изобразительной их функции и оказывается главным, если не единственным, выразительным средством*» [2, с. 293].

Архитектоническая сторона дизайн-объектов обуславливается их конструктивно-технологическим решением, которое, в свою очередь, разрабатывается исходя из их функции. Следовательно, *в дизайне налицо раздвоение методов формообразования*. Поэтому вполне логично называть дизайн *бифункциональным архитектурным искусством*, расширяя в известных случаях данный термин прибавлением к нему словосочетания «общество потребления» или «постиндустриальное общество» в родительном падеже.

Впрочем, сказанное выше в большей степени касается промышленного дизайна и других несредовых видов дизайна, нежели дизайна предметно-пространственной среды в целом и дизайна интерьеров в частности. Отличительная особенность дизайна предметно-пространственной среды заключается в решении проектно-художественных задач, нацеленных на *достижение гармоничного единства, или триединства, разнохарактерных слагаемых среды: архитектурного (архитектурное пространство), дизайнерского (предметный комплекс) и эмоционально-эстетического (атмосфера среды)* [3, с. 34]. Иными словами, в случае средового дизайна проектируется не столько объект как совокупность пространства и предметного комплекса, сколько создаваемая ими своеобразная аура, которая вызывает у потребителя сообразную указанной совокупности нацеленность на определенное поведение.

В этом отношении архитектура отличается от дизайна предметно-пространственной среды тем, что создает определенное настроение посредством художественного образа, который наличествует вне зависимости от происходящего в архитектурном пространстве. Образ же среды меняется вместе с изменением функции объекта. Дизайнерам интерьеров крайне важно научиться придумывать то, что будет обеспечивать нужную потребителю эмоционально-эстетическую атмосферу среды. А такая атмосфера создается во многом за счет предметного наполнения интерьеров, а также их архитектурных элементов (деталей) в виде объемных форм.

Возникает вопрос: *с какими именно объемными формами* должна иметь дело дисциплина «Архитектоника объемных форм», адресованная будущим дизайнерам интерьеров? Исходя из сути дизайна предметно-пространственной среды, его триединства можно утверждать, что и с архитектурными, и с дизайнерскими. Но при рассмотрении в первую очередь и более подробно их интерьерных вариантов. В то же время дизайнеры интерьеров, будучи представителями направления «Дизайн (предметно-пространственной среды)», а также ближайшими партнерами архитекторов и архитек-

торов-дизайнеров, должны получать знания и об экстерьерном пространстве жизнедеятельности человека. Отсюда вытекает необходимость изучения дизайнерами интерьеров еще и особенностей архитектуры архитектурных объектов.

Согласно уже сложившейся в белорусских вузах традиции, дисциплина «Архитектоника объемных форм» отличается значительным перевесом практических занятий над теоретическими (лекциями), а значит, имеет очевидную практическую, «рукодельную» направленность. Это логично, поскольку многие теоретические положения архитектуры объемных форм изучаются в рамках дисциплины «Теория и методология дизайна». Значит, лишь сравнительно небольшую долю лекционных занятий, примерно треть, по архитектонике объемных форм следует отводить чистой теории. При этом ее целесообразно излагать по возможности простым слогом, не уходя без крайней необходимости в рассмотрение неоднозначных и спорных теоретических вопросов.

Будущие дизайнеры интерьеров, или в значительной степени будущие проектировщики интерьеров, а также консультанты соответствующего профиля, нередко отвергают теорию архитектуры объемных форм на уровне бессознательного из-за ее излишней сложности, вычурности и неоднозначности. Следовательно, начинать обучение этой дисциплине разумно с достижения полного понимания студентами смысла основных терминов в упрощенной, близкой к однозначной трактовке. По мнению автора настоящей статьи, *упрощенные определения* некоторых терминов для начинающих дизайнеров интерьеров могут быть приблизительно такими:

– *архитектоника* – главенствующий принцип, во-первых, композиционного построения художественного целого и, во-вторых, установления связей между его частями;

– *архитектоника объемных форм* (применительно к отдельно взятым объемным формам, а не вообще ко всем объемным формам) – главенствующий принцип, во-первых, композиционного построения объемной формы и, во-вторых, установления связей между ее частями, несущими и ненесущими, который визуально проявляет себя через членение объемной формы на указанные части и их соотношение;

– *тектоника* – художественное выражение (выявление) только несущей конструкции объемной формы;

– *композиция* – единство и целостность визуальных характеристик художественного целого, а также объемной формы; композицией называют как процесс решения композиционных задач, так и его результат.

По мере изучения архитектуры объемных форм, обдумывая задания по практической части и выполняя их, студенты все глубже и тоньше понимают ее теорию. Поэтому разумно давать ее небольшими долями в течение всего, рассчитанного на два семестра, периода учебных занятий дисциплиной, а не предусматривать проведение всех лекций в первом полугодии (семестре), что имеет место в Полоцком государственном университете на момент написания настоящей статьи (2019-2020 учебный год). Постепенно, идя от простого к сложному, накапливая практический опыт и параллельно с ним теоретические познания, студенты смогут с помощью преподавателя осознанно уточнять и расширять полученную изначально упрощенную информацию об основных терминах и других элементах теоретического курса.

В результате такого подхода будущие дизайнеры интерьеров, завершая изучение архитектуры объемных форм, перестанут бояться сложных теоретических аспектов дисциплины. Они будут твердо знать, например, что понятия архитектуры и композиции в случае художественного целого и объемных форм близки, но не тождественны, и что предложенные выше упрощенные определения явно недостаточны для дипломированного дизайнера интерьеров, вникнув, в частности, в положения статьи В. Г. Власова [4]. В ней отражено, помимо прочего, авторское видение тектоники как «выражения на поверхности формы ее внутренней конструкции (функциональной структуры) посредством различного рода членений и подразделений» и архитектуры как «общей выстроенности композиции», при этом уточняется, что «архитектура выражает художественно-образный смысл формы, т. е. преобразует формальное качество конструктивности в тектоничность, а тектоничность – в смысловую целостность».

Важно добиться, чтобы студенты не отождествляли теорию архитектуры объемных форм с бессмысленным умствованием, а ценили ее как важный источник эффективных практических, проектных действий.

Что касается практических работ по архитектуре объемных форм, для глубокого понимания их сути будущим дизайнерам интерьеров следует рассматривать ее и как художественно-образную организацию объемных форм, имеющей целью выражение социокультурных смыслов [5, с. 16]. Не забывая перемежать более или менее строгие теоретические построения идущими от сердца словами великих мастеров. Вот для примера высказывание архитектора Антонио Гауди: «Хотите знать, что послужило образцом для многих моих творений? Дерево, стоящее прямо, вздымающее кверху свои ветви с расположенными на них ветками поменьше, на которых, в свою очередь, располагаются листья. И каждый из этих элементов выглядит гармонично и величественно с тех времен, как их создал Великий Творец» [6]. Прочитав подобное, волей-неволей начинаешь лучше понимать механизм творчества, смысл архитектуры объемных форм.

В 2016-2017 и 2017-2018 учебных годах автор настоящей статьи преподавал дисциплину «Архитектура объемных форм» студентам специализации «Дизайн интерьеров» в Институте современных знаний имени А. М. Широкова (г. Минск), с весеннего семестра 2017-2018 года преподает ее будущим дизайнерам интерьеров в Полоцком государственном университете. При этом в качестве учебно-методического базиса дисциплины используется написанное И. М. Коноваловым учебное пособие «Архитектура» [5], учебно-методические положения которого адаптированы к архитектуре объемных форм, изучаемой именно студентами специализации «Дизайн интерьеров».

Как показала образовательная практика, едва ли не идеальный набор практических работ по дисциплине охватывает следующие темы: 1) «Бионическая форма» (рисунки 1, 2 и 3); 2) «Трансформируемая форма» (рисунки 1 и 4); 3) «Язык материала (линия)» (рисунок 5); 4) «Язык материала (плоскость)» (рисунок 5); 5) «Язык материала (объем)» (рисунок 5); 6) «Образ технической модели» (рисунок 6).

Представленные на фотографиях работы выполнены студентами Полоцкого государственного университета (рисунки 1–5) и Института современных знаний (рисунок 6) под руководством автора настоящей статьи.

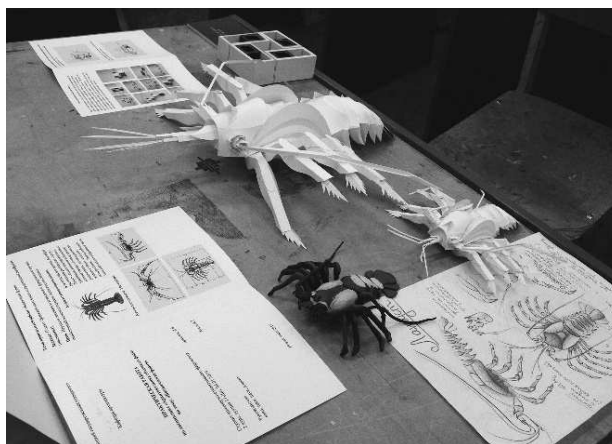


Рисунок 1. – Работа по теме «Бионическая форма»  
 (два рабочих и один экспозиционный макет, эскизы с описаниями и пояснительная записка)  
 и теме «Трансформируемая форма» (экспозиционный макет и пояснительная записка)



Рисунок 2. – Работа по теме «Бионическая форма»  
 (рабочий макет из пластилина, экспозиционный макет и эскизы)

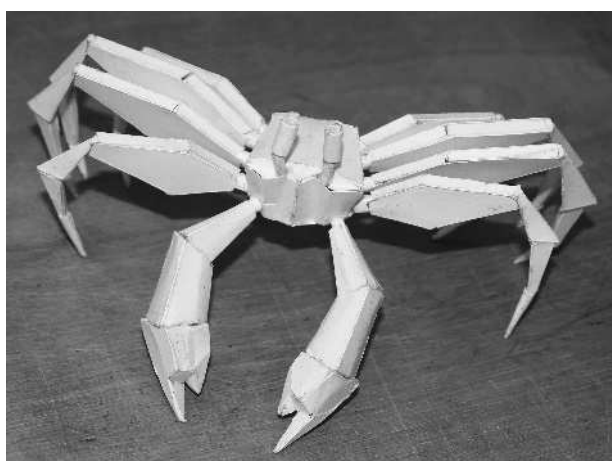


Рисунок 3. – Работа по теме «Бионическая форма»  
 (экспозиционный макет)



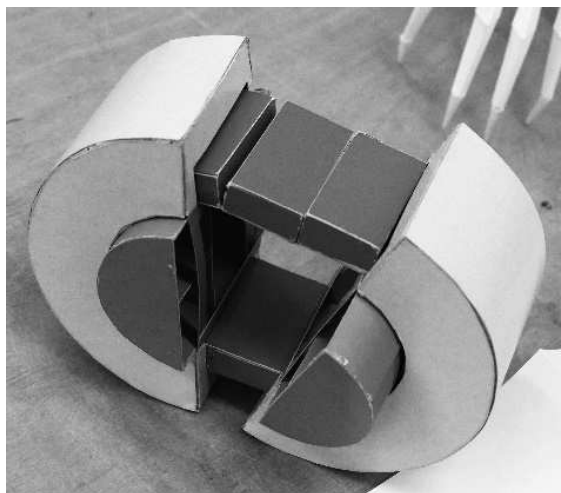


Рисунок 4. – Работа по теме «Трансформируемая форма»  
(экспозиционный макет)



Рисунок 5. – Работы по теме «Язык материала»  
(слева направо: «Плоскость», «Линия», «Объем»)  
с пояснительными записками



Рисунок 6. – Работа по теме «Образ технической модели»

В Институте современных знаний студенты под руководством автора настоящей статьи выполняли практические работы по всем шести темам, в Полоцком государственном университете от работы по шестой теме пришлось отказаться ввиду меньшего количества учебных часов, отведенных на изучение архитектурной объемных форм. Но элементы шестой работы могут прорабатываться в рамках темы «Трансформируемая форма».

В принципе, при создании необходимых условий, не исключено выполнение задания по теме «Образ технической модели» и студентами-дизайнерами Полоцкого государственного университета. Занимаясь теоретическим и практическим освоением указанной темы, фантазируя на основе изучения последних достижений науки и техники, а также футурологических прогнозов, обучаемые смогут заглянуть не только в ближайшее, но и в отдаленное будущее, значительно развив свое творческое воображение.

Например, в Институте современных знаний под руководством автора настоящей статьи будущие дизайнеры интерьеров создавали нефункционирующую модель умозрительного интеллектуального механизма сложной формы – робота, предназначенного для выполнения самостоятельных действий исследовательского или производственного характера в автоматическом режиме в условиях, в которых действия человека неэффективны, либо в среде, нахождение человека в которой чрезвычайно опасно или невозможно.

Описываемой методикой преподавания архитектурной объемных форм предусматривается поэтапное выполнение практических работ. В общем случае наличествует семь этапов.

*1-й этап* – осмысление задания, подбор и анализ прототипов.

Прототипами могут быть творения природы (растения, животные, минералы, снежинки и т.д.), функциональные объекты из реального или придуманного, например, кинематографистами мира, космические объекты и т.д.

Анализ прототипов заключается в изучении их функций, конструктивного строения, материально-вещественного воплощения и других важных особенностей применительно к решаемым в соответствии с заданием задачам.

*2-й этап* – разработка идеи новой формы, эскизирование.

С учетом результатов анализа прототипов разрабатывается в виде эскизов идея новой формы, которая должна представлять собой адаптированную к одному или нескольким вариантам возможного реального применения дизайнерскую, в необходимой степени упрощенную и (или) измененную по сравнению с прототипом, форму.

Упрощение и (или) изменение формы прототипа заключается в подчеркивании его выразительных черт и игнорировании несущественных деталей.

Приветствуется разработка нескольких эскизных предложений.

*3-й этап* – изготовление небольшого рабочего (поискового) макета новой формы из легко поддающегося обработке материала.

В зависимости от конкретной практической работы это может пластилин, мягкая проволока, бумага или другой легко поддающийся обработке материал.

Этот макет призван дать представление об обобщенном объемном решении новой формы.

4-й этап – изготовление небольшого рабочего (поискового) макета новой формы с использованием материала, из которого должен быть изготовлен экспозиционный макет новой формы.

Этот макет, изготовленный на основе рабочего макета из пластилина, мягкой проволоки, бумаги или другого легко поддающегося обработке материала призван дать представление *об обобщенном объемном и материальном решении новой формы*.

5-й этап – создание графической модели экспозиционного макета новой формы в его натуральную величину.

Эта модель необходима для снятия размеров, которые требуются для изготовления экспозиционного макета.

Изображения графической модели, выполненные вручную и (или) с помощью компьютерной графики, должны детально показать будущий экспозиционный макет новой формы.

6-й этап – изготовление экспозиционного макета новой формы.

В ходе этого этапа идет подготовка и обработка материалов для создания макета, изготавливаются детали (элементы), из которых собирается, составляется, спаивается, сшивается или склеивается макет (указанные способы в определенных случаях можно комбинировать), дорабатываются его отдельные места (фрагменты, элементы, узлы), осуществляется его чистовая обработка и при необходимости финишная отделка (окраска, оклейка).

При необходимости создается антураж, например имитация окружающей среды.

7-й этап – экспонирование.

Выставочная экспозиция призвана в полном объеме и эстетично отразить *всю* проделанную работу.

Важными элементами практических работ служат компактные *пояснительные записки*. Ниже в качестве примера приводится основная часть описания записки по первой практической работе.

*Форма и содержание пояснительной записки*

1. Пояснительная записка составляется по практической работе на тему «Бионическая форма».

2. Пояснительная записка выполняется в виде книжки из одного листа тонкого белого картона или плотной белой бумаги формата А4 (297×210 мм), согнутого пополам при поперечном расположении линии сгиба. При этом каждая из двух половин листа имеет формат А5 (148,5×210 мм).

Поля получившихся страниц: по 10 мм с каждой стороны.

3. На 1-й странице книжки оформляется титульный лист (пример оформления титульного листа см. в п. 6).

4. Наполнение 2-й и 3-й страницы:

4.1. Задание на выполнение практической работы;

4.2. Описание цели практической работы;

4.3. Описание художественно-образного решения бионической формы (макета) с приведением ее авторского названия и показом прототипа;

4.4. Схематические изображения бионической формы (макета) в трех проекциях с приведением ее основных геометрических параметров;

4.5. Описание технологии изготовления бионической формы (макета) с показом необходимых изображений (фотографий), в т. ч. изображений (фотографий) рабочих макетов.

5. Наполнение 4-й страницы:

5.1. Полихромные изображения и краткие описания двух вариантов возможного использования бионической формы в виде готового изделия – в интерьере и реальной или придуманной городской либо природной среде.

Реализация описанной в настоящей статье методики преподавания дисциплины «Архитектоника объемных форм» студентам специализации «Дизайн интерьеров» в основном себя оправдывает. Примечательно, что будущие дизайнеры интерьеров с немалым интересом и даже воодушевлением занимаются всем комплексом работ, связанных с выполнением практических заданий. Это объясняется в первую очередь предоставляемой студентам творческой свободой, которая позволяет эффективно развивать их сильные и минимизировать слабые стороны как представителей художественно-проектной сферы. Вместе с тем нуждается в доработке теоретическая часть дисциплины, особенно в отношении ее логической связи с практической частью. Необходимое улучшение теоретической части и оптимизация дисциплины в целом выполняется в ходе создания соответствующего учебно-методического комплекса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ОСРБ 1-19 01 01 01-2013 Образовательный стандарт Республики Беларусь. Высшее образование. Первая ступень. Специальность 1-19 01 01 Дизайн (по направлениям): – Введ. 01.01.2014. – Минск : Министерство образования Республики Беларусь, 2013. – 62 с.
2. Каган, М. С. Морфология искусства. Историко-теоретическое исследование внутреннего строения мира искусств / М. С. Каган. – Л. : Искусство, 1972. – 440 с.
3. Шимко, В. Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории (средовой подход): учебник / В. Т. Шимко. – 2-е изд., доп. и исправл. – Москва : Архитектура-С, 2009. – 408 с.
4. Власов В. Г. Архитектоническая форма в изобразительном искусстве, архитектуре и дизайне: единство методологии, типологии и терминологии / В. Г. Власов // Архитектон: известия вузов № 43 / Сентябрь 2013. – С. 5–18.
5. Коновалов И. М. Архитектоника [+CD] : учеб. пособие /И. М. Коновалов. – Минск : Современные знания, 2011. – 224 с.
6. Криппа М. А. Гауди / М. А. Криппа : пер. с нем. / М. А. Криппа. – М. : TASCHEN / АРТ-РОДНИК, 2004. – 96 с.

УДК. 691.37.016

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ДИЗАЙН (ПРЕДМЕТНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СРЕДЫ)»

**Ю.И. Киреева**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: u.kireeva@psu.by

*В статье рассматриваются особенности преподавания учебной дисциплины «Материаловедение» для студентов дизайнеров интерьера. Изучение предмета включает лекции, практические занятия и самостоятельную работу студентов. Лекции проводятся с использованием авторских презентаций и видео-фильмов по применению материалов в дизайне интерьеров. Практические занятия студенты выполняют с использованием коллекций строительных материалов и справочно-нормативной литературы, часть работ с лабораторным компонентом по определению основных физико-механических свойств. Самостоятельная работа студентов включает подготовку к практическим занятиям, тестовым контрольным работам, написание реферативной работы по стилям интерьера, а также подготовку к зачетам и экзаменам.*

**Ключевые слова:** методика преподавания, дизайнер интерьеров, лекции-презентации, практические занятия, коллекции материалов, тесты, рефераты.

TECHNOLOGY OF TEACHING MATERIAL SCIENCES  
FOR STUDENTS OF SPECIALTY "DESIGN (OF SUBJECT-SPACE ENVIRONMENT)"

**U. Kireeva**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: u.kireeva@psu.by

*The article discusses the features of teaching the discipline "Materials" for students of interior designers. The study of the subject includes lectures, practical classes and independent work of students. Lectures are held using author presentations and video films on the use of materials in interior design. Students carry out practical exercises using collections of building materials and reference and regulatory literature, part of the work with the laboratory component to determine the basic physical and mechanical properties. Independent work of students includes preparation for practical exercises, test tests, writing abstracts on interior styles, as well as preparation for tests and exams.*

**Keywords:** teaching methodology, interior designer, lectures, presentations, practical exercises, collections of materials, tests, essays.

Специалисты дизайнеры предметно-пространственной среды занимаются проектированием интерьеров жилых и общественных зданий, административных и культурно-развлекательных помещений, выставочных комплексов и т.д. Основное назначение

преподаваемой дисциплины состоит в изучении студентами теоретических основ материаловедения с целью применения рациональных по назначению материалов и изделий в дизайнерском проектировании. При выборе материалов и изделий дизайнер должен руководствоваться назначением помещения, его размерами, условиями эксплуатации материала, его долговечностью, экологичностью, физико-техническими свойствами, формой и такими эстетическими характеристиками как цвет, текстура, фактура. «Интерьер» - предопределяет внутреннее пространство помещения, его визуальное и эмоциональное восприятие, связанные прежде всего с архитектурными формами и эстетическими свойствами применяемых для декора отделочных материалов.

Все элементы и предметы декора должны гармонизировать между собой, создавая эстетически завершенную картину. Интерьер помещения включает ограждающие и разграничивающие пространство поверхности: пол, потолок, стены, перегородки, мебель и наличие отделочных материалов вид, форма, цвет, текстура и фактура которых создают эмоциональное восприятие окружающей предметно-пространственной среды. Для оформления интерьера помещения в зависимости от его размера, назначения, выбранного стиля и условий эксплуатации используют органические материалы: древесные, полимерные и неорганические: природные каменные, керамические, из минеральных расплавов, металлические и искусственные каменные, полученные на основе таких минеральных вяжущих как известь, гипс, цемент.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- классификацию строительных материалов по составу, структуре, виду изделий и назначению;
- основы стандартизации и унификации строительных материалов
- физико-технические свойства строительных материалов
- эстетические свойства отделочных материалов и их влияние на визуальное и эмоциональное восприятие декорируемого пространства
- влияние стиля интерьера на вид применяемых отделочных материалов, их природу, форму и эстетические свойства
- номенклатуру выпускаемых конструкционных материалов и материалов специального назначения;
- номенклатуру выпускаемых конструкционно-отделочных и отделочных материалов
- новые отделочные материалы, используемые в дизайне интерьера различных по назначению помещений
- влияние стиля интерьера на вид применяемых отделочных материалов, их природу (органические, неорганические), форму и эстетические свойства

В соответствии с учебным планом материаловедение изучается студентами на втором (3, 4 семестры) и третий (5, 6 семестры) курсах. Общее количество часов включает лекции, практические работы и часы на самостоятельную работу. Лекции проводятся с использованием авторских презентаций и слайдов по применению отделочных материалов, а также видеофильмов по получению строительных материалов и применению отделочных материалов в дизайне интерьера. Для подготовки к контрольным рабо-

там, зачетам и экзаменам имеются авторские учебные пособия, методические указания по выполнению лабораторных и практических работ в трех частях и электронное средство обучения «Строительное материаловедение». Практические работы направлены на предметное, визуальное осмысление и закрепление лекционного материала. С этой целью часть основополагающих практических работ проводятся с использованием лабораторного компонента. Это работы по определению показателей, характеризующих структуру разных по природе (органические, неорганические) и применению (конструкционные, теплоизоляционные и т.д.) материалов, влиянию структуры на их плотность, прочность и теплопроводность. На примере керамических материалов (стенной кирпич, облицовочная плитка, теплоизоляционный керамзит) студенты изучают влияние технологии получения на эксплуатационно-технические свойства изделий и их применение. Большое внимание уделяется материалам, которые получают с использованием минеральных вяжущих: извести, гипса, цемента. Изделия на их основе обладают высокой долговечностью. Применяя различные технологии можно получить отделочные материалы заданной формы, разной текстуры, фактуры и цвета. Эти материалы находят все большее применение в таких современных стилях как лофт, минимализм, техно и хайтек. Так как технология получения и условия эксплуатации таких изделий и материалов непосредственно связаны с основополагающими свойствами минеральных вяжущих, зависящих прежде всего от их химико-минералогического состава и сложных физико-химических процессов твердения, то практические работы по этой тематике предусматривают лабораторное определение основных стандартных показателей таких как тонкость помола, сроки схватывания, прочность, по которым студенты определяют марку и область использования гипса и портландцемента. Большое внимание уделено работам по декоративным растворам с разной фактурой поверхности и бетонам: конструкционному на плотном заполнителе и конструкционно-теплоизоляционному керамзитобетону. Эти работы также проводятся с лабораторным компонентом. Методика проведения практических занятий прикладного характера. Которые являются завершающими – итоговыми после изучения каждой темы. Предполагает работу студентов непосредственно с коллекциями строительных материалов, с использованием справочно-нормативной и учебной литературы. Например, в качестве вопросов используют следующие:

приведите примеры и обоснуйте выбор материалов на основе растительного сырья для покрытия полов в жилых и общественных помещениях

на конкретных примерах покажите, как способ получения полимерных отделочных материалов влияет на их свойства и применение

покажите на примере изделий из минеральных расплавов влияние микро-и макроструктуры на их свойства и применение

Самостоятельная работа студентов включает подготовку к промежуточным тестовым контрольным работам по пройденным темам, защиту практических работ и написание реферативной работы, которую студенты представляют на занятиях в форме презентации с последующим обсуждением, а также подготовку к зачетам(3, 4 семестры) и экзаменам(5, 6 семестры). Тематика реферативной работы непосредственно связана со

стилями, используемыми в дизайн проектировании: классические, этнические, современные. Задача студента – подобрать и обосновать в соответствии с заданным стилем и с учетом технологических, физико-технических и эстетических свойств применение отделочно-конструкционных и отделочных материалов для отделки стен, пола, потолка жилых помещений и кухни. Оценки тестовых контрольных и реферативной работы (по десятибалльной системе) учитываются на зачетах и среднеарифметическое значение является составляющей общей оценки на экзаменах. Студенты, которые выполнили наиболее интересные реферативные работы, выступают с докладами на ежегодных студенческих конференциях

Используемая технология обучения позволит студентам дизайнерам обоснованно составлять перечень необходимых конструкционных, конструкционно-отделочных и отделочных материалов при разработке дизайн проекта интерьера с учетом архитектурного решения, назначения объекта и помещения, выбранного стиля и условий эксплуатации материалов.



УДК 372.8:72

## ОВЛАДЕНИЕ НАБРОСКОМ КАК ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ НАВЫКОМ АРХИТЕКТОРА ДЛЯ РАБОТЫ НАД КЛАУЗУРОЙ

*О.Д. Кузякова*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь.

e-mail: orange7@mail.ru

*Необходимость подготовки квалифицированных специалистов в области архитектуры. Роль рисунка в данном процессе. Клаузура, как начальная стадия разработки архитектурного проекта. Зависимость клаузурного метода обучения будущих архитекторов от их навыков и умений в области рисунка. Обучение наброску как средство достижения необходимых архитектору знаний, умений, навыков.*

**Ключевые слова:** *клаузура, рисунок, набросок с натуры, набросок по представлению.*

## THE MASTERY OF SKETCH AS A PROFESSIONAL ARCHITECT'S SKILL TO WORK ON CLAUSURA

*O. Kuzyakova*

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: orange\_7@mail.ru

*The need for training of qualified specialists in the field of architecture. The role of drawing in this process. Clausura as the initial stage of development of an architectural design. Dependence of the clausura teaching method for future architects on their skills and abilities in drawing. Sketch training as a means of achieving knowledge, abilities and skills required for an architect.*

**Keywords:** *clausura, drawing, sketch from nature, sketch from view.*

Важнейшей целью высшего образования является подготовка квалифицированных специалистов, конкурентоспособных на рынке труда, компетентных, ответственных, свободно владеющих своей профессией и ориентирующихся в смежных областях деятельности. Многочисленные требования к профессиональному уровню специалиста, определены в ОСВО 1-69 01 01-2013. Среди них упоминаются следующие: владеть системным и сравнительным анализом, владеть исследовательскими навыками, уметь работать самостоятельно, быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью) [1, с.8]. Для наработки подобных навыков имеет большое значение рисунок как базовая учебная дисциплина, которая в современной системе художественного образования занимает особое место. Дисциплина «рисунок» является общепрофессиональной и обязательной. Говоря о системе подготовки архитектора как специалиста по проектированию пространства, можно вспомнить известную фразу Дени Дидро о том, что нельзя доверять архитектору, который не умеет рисовать, ведь архитектура – это мать искусств.

В настоящее время ведётся много разговоров о том, как компьютерные технологии заменяют ручной труд, ускоряют рабочие процессы при проектировании и создании итогового архитектурного продукта в виде проекта. Однако заменить творческий процесс поиска идеи, если это, конечно, самобытная, оригинальная идея, идеально вписывающаяся в заданную тему, компьютерная программа не может. Она ограничена теми шаблонами, которые в неё изначально вложены программистом. Впрочем, если и сознание архитектора ограничено теми же шаблонами, то программа с задачей справится быстрее, т.к. возможности цифровых технологий действительно велики и компьютерная графика давно используется в различных областях науки, техники и искусства. Но, несмотря на это, художественно-графические способности архитектора по-прежнему востребованы в архитектуре. Мышление архитектора умеющего рисовать всегда мобильно, его рука следует по бумаге за творческим замыслом, успевая отмечать все нюансы возникающего в сознании образа. Сам процесс рисования затрагивает глубинные механизмы мышления, осмысления заложенных в сознании образов, что ускоряет процессы их обработки и трансформации. Что способно помочь сознанию вырваться за рамки тех или иных ограничений, шаблонов и создать нечто новое, не бывшее ранее.

В данном случае говорится о рисунке по представлению и воображению, который помогает процессу накопления тех образов в сознании, которые нарабатывает и использует в своей профессиональной деятельности каждый архитектор. В целом рисунок развивает пространственное мышление, чувство пропорций, чувство композиционного равновесия. Рисунок учит образному мышлению, умению анализировать, исследовать плоскость, форму, пространство, на основе известных форм создавать новые формы.

Данные умения комбинировать, легко трансформировать, стилизовать те или иные геометрические тела, природные формы и т. д. в различные новые образы, для выражения своих творческих идей на плоскости листа архитектор должен уметь применить при создании клаузуры.

Клаузура, как начальная стадия разработки архитектурного проекта, является также отдельным видом учебных заданий. На проектировании преподаватели часто сталкиваются с недостаточным умением студентов передать свой замысел графически правильно, по правилам линейной перспективы, так, чтобы зритель эту идею верно и однозначно понял. Здесь не помогают навыки рисования, полученные при выполнении длительных заданий по рисунку. Длительный рисунок инертен. А здесь нужна скорость мышления и мобильность сознания, полученные через навык быстрого рисунка. Только в этом случае клаузура, выполненная на занятии, начнёт соответствовать следующим требованиям:

– *образность*. Задача – через быстрые клаузурные наброски передать образ, возникающий в сознании, те первые самые яркие идеи и впечатления которые соответствуют заданной теме;

– *информативность*. Развивая образ на плоскости листа, возникает необходимость подачи темы изображения, информации в различных форматах. К клаузурным изображениям относятся не только перспективные видовые изображения, но и планы, фасады, разрезы, выполненные эскизно от руки по правилам ортогональных чертежей. Данные изображения сопровождаются так же и текстовой информацией: название проекта, подписи планов, фасадов, видовых точек, экспликации и т. д.;

– *внешний вид*. Здесь играет роль композиция листа, компоновка изображений на формате, их сомасштабность. Подача изображений: качество графической линии, использование цвета, контрастность, применение валёров, изображение перспективы с правильно подобранным и выполненным ракурсом, технически грамотно выполненные эскизы чертежей плана, фасада, разреза. При большом наличии сопроводительного текста, возникает необходимость разработки шрифта. И, как часть учебного задания, графическая подача должна соответствовать теме.

Подобные задания при обучении студентов - архитекторов уже сами по себе ставят руку в рисунок, помогая отточить свою манеру изображения, выработать графический «почерк». Но обучение технике выполнения клаузуры, использование различных графических материалов и цвета в работе, обучение навыкам выполнения перспективного рисунка невозможно в полной мере на проектировании. Всеми этими знаниями, умениями и навыками студент уже должен обладать, принимаясь разрабатывать идею проекта. Из вышесказанного видно, что клаузурный метод обучения будущих архитекторов напрямую зависит от их навыков и умений в области быстрого рисунка.

В настоящее время в теории преподавания рисунка разработан ряд методов, которые используются в зависимости от поставленных целей и задач. В общеобразовательной практике применяются помимо длительного и краткосрочного рисунок с натуры, по памяти, по представлению. Для подготовки студентов в данном аспекте наиболее подходящим видом заданий по рисунку является краткосрочный рисунок – набросок, как с натуры, так и по представлению.

Набросок, как краткосрочный рисунок, имеет особую значимость в силу формирования мыслительных способностей архитектора на основе синтеза таких качеств, как: образность, системность и креативность. Набросок требует от мышления студента мобильности, структурности при быстрой переработке и обобщении сознанием воспринятой, изменяющейся реальности и выдаче результата в виде нового графического продукта. Так же быстрый рисунок позволяет архитектору эффективно освоить художественные средства рисунка, используемые в дальнейшей профессиональной деятельности [2,с.11; 3].

Набросок выполняется при участии следующих психических процессов: первичное зрительное восприятие объекта, представление, воображение и память. Непосредственное зрительное восприятие используется при изучении с помощью наброска конкретного объекта, его индивидуальных свойств и характеристик. Элементы представления и воображения в виде вторичных образов включаются и накладываются сознанием на рисунок при создании более обобщённого образа, при выявлении типичных черт, присущих объекту. Преобладание тех или иных элементов зависит от поставленных перед студентом целей и задач [3;4;5].

Цели выполнения наброска при обучении студентов - архитекторов:

1. Овладение навыком быстрого рисования;
2. Накопление в сознании первичных и вторичных зрительных образов путём наблюдения окружающей действительности;
3. Развитие целостного зрительного восприятия, образного мышления, умения видеть существенные, характерные, типичные особенности объектов;
4. Развитие зрительного восприятия, сохранение яркости воспринятого первичного образа;
5. Эстетическое осмысление окружающей действительности;

6. Возможность использования полученных навыков в дальнейшей профессиональной деятельности [2; 3; 5].

Задачи выполнения наброска при обучении студентов - архитекторов:

1. Нарботка и закрепление навыков реалистического изображения объектов, пространства искусственной среды (архитектура, интерьер), природы, флоры и фауны, человека;

2. Развитие навыка быстро выделять существенные черты, пропорции, соотношение масс объектов, выявление связей и взаимодействия различных элементов целого;

3. Развитие навыка исследования формы объекта путём стилизации, трансформации, изучения её конструкции;

4. Помощь в поиске композиционного решения учебных или творческих работ;

5. Развитие глазомера;

6. Развитие моторного навыка, наработка двигательных навыков;

7. Овладение широким спектром владения различными художественными средствами, материалами, и техническими приёмами исполнения рисунка. Освоение пространственной линией в рисунке [2; 3].

Существуют различные виды набросков:

– наброски, выполненные с использованием различных выразительных средств графического изображения (линия, точка, штрих, пятно): линейные, светотонные и комбинированные, они способствуют развитию образности мышления;

– наброски, выполненные при использовании различных изобразительных и художественных средств выразительности (силуэтный рисунок позитив, негатив, рисование непрерывной линией, падающие тени, рисование жестом и др.). Их выполнение снимает подсознательные ограничения, боязнь испортить работу, раскрывает творческий потенциал, помогает взглянуть на натуру с нестандартной точки зрения, закладывает основы понимания законов формальной композиции [2; 6];

– конструктивные наброски, выполненные с применением различных элементов построения, благодаря которым при рисовании определяют структуру пространства, выполняют упрощённую форму объекта (объём, выстроенный из плоскостей, кубиков, цилиндров, эллипсоидов и т. д., анализ сечения объекта). Выполнение этих набросков способствует развитию пространственного и аналитического мышления [2, с.11; 3; 5; 6, с.39; 7; 8];

– наброски, выполненные при задействовании различных механизмов психики человека: рисунок с натуры, по памяти, по представлению, по воображению. Способствуют глубокому анализу формы и закреплению данных образов в сознании; Умение рисовать по воображению является в итоге профессиональным навыком для архитектора. Все выше перечисленные методы формируют профессиональные навыки, раскрывают творческий потенциал, что способствует дальнейшей проектной деятельности.

Далее приведён далеко не полный перечень видов заданий, которые ставятся перед студентами в рамках дисциплины «Рисунок».

1. Наброски с передачей материальности, фактуры (прозрачное стекло, глянец, металлические поверхности). Цель данного задания – освоить приёмы изображения про-

зрачных объектов (рис 1), объектов с блестящими поверхностями (рис 2), используя различные материалы и технические приёмы.



Рисунок 1. – Наброски объектов из прозрачного стекла

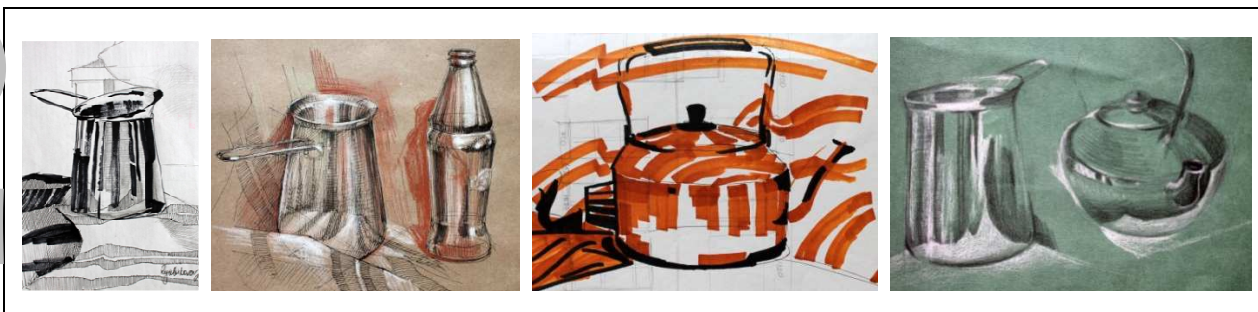


Рисунок 2. – Наброски объектов с блестящей и глянцевой поверхностью

2. Наброски складчатых структур (драпировки, мятая бумага, пластик). Цель задания – научиться изображать поверхности, не обладающие выраженной, хорошо читаемой геометрической формой. У данных мятых структур так же отсутствуют оси вращения и симметрии. Однако сами складки могут обладать различными характеристиками, в зависимости от материала, из которого изготовлен объект: ломкость, жёсткость, мягкость, текучесть и т. д. (рис. 3).

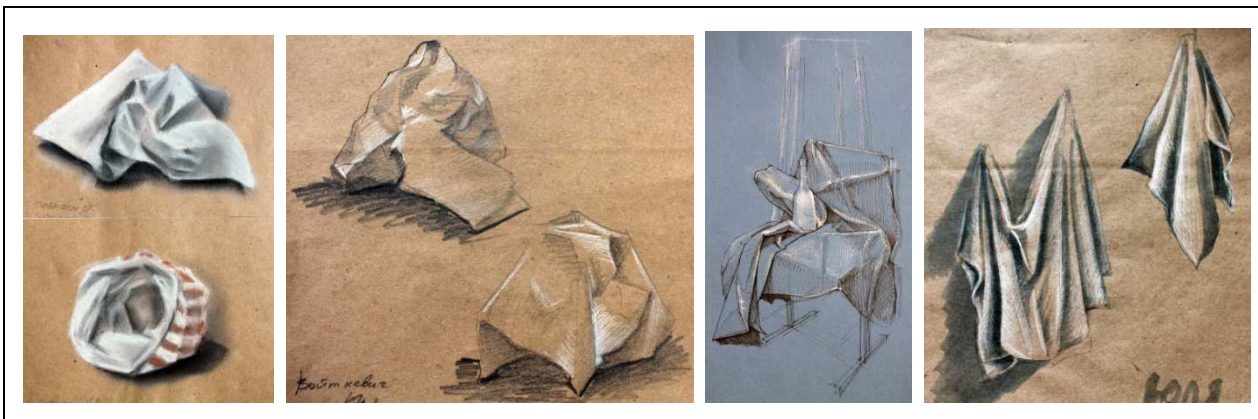


Рисунок 3. – Наброски складчатых структур

3. Наброски растительных форм, как живых, так и сухостоя, который хорошо передаёт структуру растения, легко стилизуется и является удачным материалом для отработки графических навыков у студентов. Цель задания – изучение природных форм, которые являются неиссякаемым источником идей для архитектора (рис. 4).



Рисунок 4. – Наброски растительных форм

4. Наброски сложных структурных объёмов. Цель задания – освоить изображение объектов, принцип организации формы которых не очевиден или непривычен для студентов, т. к. в процессе обучения рисунку данные объекты не использовались, либо поданы в непривычном ракурсе. Для выполнения задания необходимо понять принцип организации данной формы и передать его в рисунке доступными графическими средствами (рис. 5).



Рисунок 5. – Наброски сложных структурных объёмов

5. Быстрые наброски фигуры человека на время. Наброски выполняются при последовательном сокращении времени, отведённого для одной работы - 3 мин., 1 мин., 30 сек. Цель задания – закрепление в сознании студента пропорций и соразмерностей фигуры человека при изображении её в ракурсе. Следует овладеть умением отбрасывать при изображении фигуры всё лишнее, рисуя весь силуэт сразу минимальным количеством линий. Это задание учит видеть натуру цельно. Чему способствует ограничение времени, отведённого на одно задание (рис. 6).

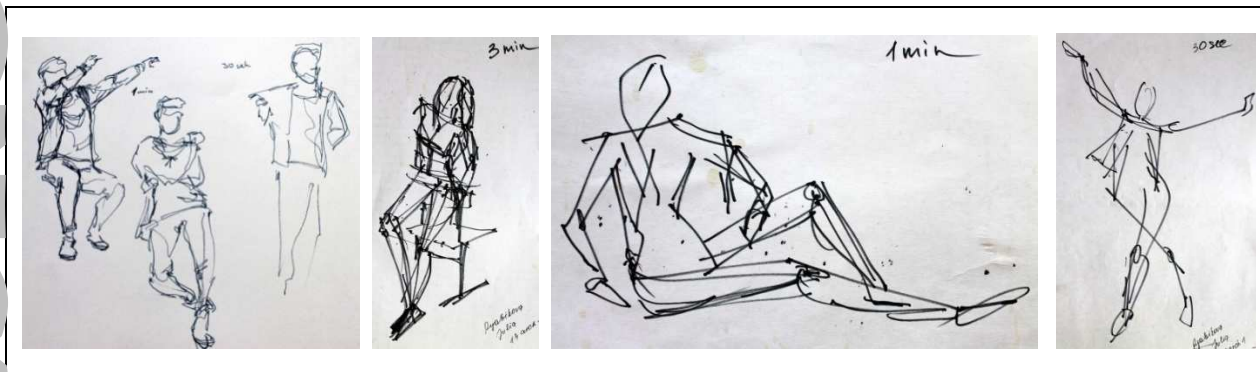


Рисунок 6. – Быстрые наброски фигуры человека на время

Наброски по представлению с недоступных, воображаемых точек зрения. Вначале выполняется рисунок постановки с натуры, исследуются пропорции объектов постановки и взаимосвязи между ними. Затем выполняются конструктивные наброски по представлению в перспективе (рис. 7). Данное задание может применяться в различных вариантах. Например, рисунок интерьера, лестниц (рис. 8).

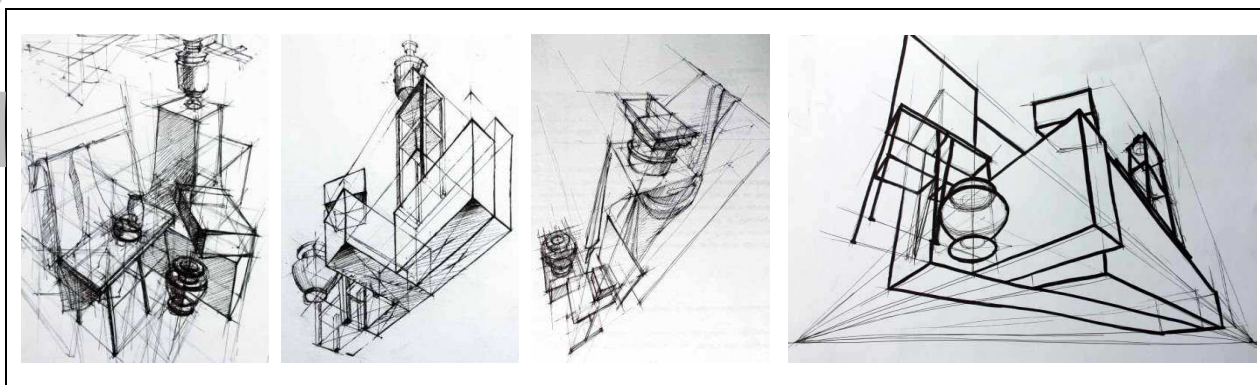


Рисунок 7. – Наброски по представлению с недоступных, воображаемых точек зрения. Предметная постановка

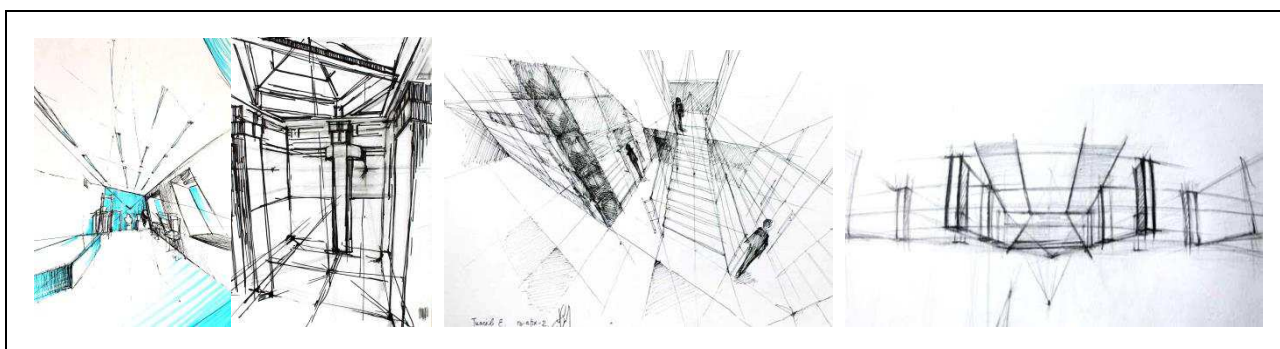


Рисунок 8. – Наброски по представлению с недоступных, воображаемых точек зрения. Интерьер

Точки зрения мысленно можно брать с любой стороны объекта, использовать высокую или низкую линию горизонта. Поскольку наброски выполняются ручкой, тушью, маркером то невозможность изменить рисунок является хорошим организующим моментом. Когда объект невозможно нарисовать с натуры, происходит включение тех структур мозга, которые отвечают за целостное, абстрактное восприятие и самой модели, и пространства в целом. В сознании формируется четкая модель трехмерного пространства, которой можно оперировать, трансформировать по своему желанию с той или иной целью.

Выполнение набросков с натуры только первый шаг в ряду заданий, ставящих образное и пространственное мышление будущих архитекторов. Следующий шаг – это рисунок по представлению. Самостоятельно мысленно изменить реальный объект: его форму, ракурс, положение в пространстве, взаимоположение частей объекта относительно друг друга и т. д. Подобные задания начинают задействовать уже другие психофизические процессы, протекающие в сознании и подсознании человека: длительную память, процессы формирования устойчивых образов изучаемых объектов. И в итоге, учащийся должен прийти к выполнению рисунка по воображению, что является итоговой целью обучения рисунку архитектора. Данный вид рисунка продолжает совершенствовать мышление студента в области формообразования на основе полученных ранее знаний, умений и навыков. Именно эти навыки в работе с краткосрочным рисунком по воображению и являются я той основой, на которой базируются вся графическая работа с клаузурой, всё умение студента грамотно передать свой замысел на плоскости листа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Образовательный стандарт высшего образования. Высшее образование первая ступень. Специальность 1-19 01 01 «Дизайн» (по направлениям): ОСВО 1-19 01 01-2013 . – Введ. 01.01.2014. – Минск: Министерство образования Республики Беларусь. – 62 с.
2. Евтых, С.Ш. Наброски. Зарисовки. Эскизы: Учебное пособие для студентов специальности «Дизайн» / С.Ш. Евтых. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. –115 с. : ил.
3. Кузин, В.С. Наброски и зарисовки: пособие для учителей. 2-е изд. перераб. / В.С. Кузин. – М.: Просвещение, 1981. – 160 с. : илл.
4. Маклаков, А.Г. Общая психология: учебник для вузов / А.Г. Маклаков. – СПб.: Питер, 2009. – 583 с. : илл.
5. Ростовцев, Н.Н. Развитие творческих способностей на занятиях рисованием: учебное пособие для студ. худож.-граф. фак. пед. ин-тов/ Н.Н. Ростовцев, А.Е. Терентьев. – М.: Просвещение, 1987. – 176 с. : илл.
6. Тютюнова, Ю.М. Пленэр: наброски, зарисовки, этюды: учеб.пособие для вузов / Ю.М. Тютюнова. - М.: Академический Проект, 2012. – 175 с. : илл.
7. Лаврецкий, Г.А. Объемно-пространственная композиция из геометрических тел: учеб.-метод. пособие для поступающих на специальности 1-69 01 01 «Архитектура», 1-69 01 02 «Архитектурный дизайн», 1-37 05 01 «Дизайн гусеничных и колесных машин», 1-36 21 01 «Дизайн производственного оборудования» : в 3 ч. / Г.А. Лаврецкий, И.Н. Ожешковская, И.А. Чижик. – Минск : БНТУ, 2015. – 118 с.
8. Осмоловская, О.В. Рисунок по представлению: учеб.пособие / О.В. Осмоловская, А.А. Мусатов. – 2-е изд. – М.: Архитектура-С, 2012. – 412 с. : илл.



СОДЕРЖАНИЕ

Секция I  
**АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
 В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

*Кондратьева Л.Е., Ханбабаева А.А.* Предложения по планировке блока для студенческих семей в общежитии вуза .....6

*Захаренко А.В.* Актуальность повышения адаптивности жилых зданий индустриального строительства к реконструкции .....10

*Платонова Р.М., Лукьяненко В.Г.* Ганза в контексте регенерации Верхнего замка в Полоцке .....18

*Захаркина Г.И., Кабаева М.В.* Исследование планировочных особенностей территории усадьбы Гребницких в д. Ореховно .....26

Секция II  
**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,  
 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*Пархоц В.С.* Обзор законов распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном .....33

*Бурлакова А.М., Филатов В.В.* Оценка критического состояния грунтовой среды под действием техногенных форм рельефа .....41

*Тронда Т.В., Сернов В.А.* Натурное исследование основания, армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами из сухой бетонной смеси .....47

*Глухов Д.О., Глухова Т.М.* Методы и алгоритмы вероятностной оценки надежности пространственных железобетонных конструкций .....52

*Хотько А.А., Акбар С.М.* Анализ методик расчета изгибаемых бетонных конструкций со стеклопластиковой арматурой по эксплуатационной пригодности .....58

*Чиклаев Г.С.* Влияние диаметра и марки стали арматуры на ее ферромагнитные свойства .....64

*Турищев Л.С.* О расчете сжато-изогнутого стержня с учетом разномодульности материала .....69

*Раззаков С.Ж., Холбоев З.Х., Косимов И.М.* Определение динамических характеристик модели зданий, возведенных из малопрочных материалов .....74

*Кремнёв А.П., Вишняков Н.Н., Дубовик О.А., Парусова М.М.* Влияние окатанности зёрен грунта на его прочностные свойства .....80

*Лазовский Д.Н., Хаткевич А.М.* Расчёт сжатых армокаменных элементов с учетом физической нелинейности их материалов .....88

*Журавский А.Д., Куцик Е.В.* Прочность и трещиностойкость железобетонных балок из высокопрочного бетона .....93

*Гиль А.И., Лазовский Е.Д.* Сопротивление изгибу статически неопределимых железобетонных балок с гибридным армированием .....99

*Приев Б., Генина Е.* Исследование совместной работы бетона и сталефибробетона в двухслойном сечении при изгибе и раскалывании .....104

*Гринёв В.В., Пидложевич А.Н., Пузан А.С.* Определение НДС эксплуатируемых дымовых труб по результатам дистанционного мониторинга .....113

<i>Аимбетов И.К., Бекимбетов Р.Т.</i> К вопросу проектирования висячих свайных фундаментов в условиях г. Нукуса .....	120
<i>Кремнева Е.Г.</i> Сопротивление сдвигу контактного шва составных бетонных конструкций с использованием композиций на основе цементных систем .....	125
<i>Кремнева Е.Г.</i> Влияние модификаторов на прочность контактного шва составных бетонных и железобетонных конструкций .....	130
<i>Кремнев А.П., Кремнева Е.Г.</i> Несущая способность плит из пенобетона и тонкостенного холоднодеформированного стального профиля .....	136
<i>Кремнёв А.П., Вишняков Н.Н., Ермаченко В.В.</i> Исследование схемы потери устойчивости анизотропного грунтового основания фундаментов распорных сооружений .....	143
<i>Костюрина К.А., Лазовский Е.Д.</i> Усиление изгибаемых железобетонных элементов приклеиванием дополнительных сборных предварительно напряженных элементов .....	149
<i>Козьянина Т.Г., Лазовский Е.Д.</i> Усиление изгибаемых железобетонных конструкций в зоне среза с использованием углеродных волокон .....	154
<i>Гандельсман А.И., Гандельсман И.А.</i> Исследование причин деформирования фундаментной плиты строящегося 12-этажного жилого дома в микрорайоне Юрьеvec г. Владимира .....	160
<i>Леонович С.Н., Пелюшкевич А.И., Казаченко Н.Я.</i> К вопросу оценки технического состояния строительных конструкций незавершенного строительством административного здания по ул. Платонова в г. Минске .....	169
<i>Давыдов Е.Ю., Кононович К.В.</i> Опыт усиления подкрановых балок бимоментными связями .....	178
<i>Згировский А.И., Коледа С.М.</i> Анализ рационального очертания большепролетных арочных покрытий .....	183
<i>Надольский В.В., Верёвка Ф.А.</i> Учет эквивалентных геометрических несовершенств в конечноэлементном программном комплексе Abaqus при проведении верификационных исследований тонкостенных балок на действие локальной нагрузки .....	191
<i>Шилов А.Е., Окоرافор Ф.Ч.</i> Особенности проектирования зданий и сооружений в условиях жаркого климата .....	201

### Секция III

## РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

<i>Капуш И.Р., Закревская Л.В.</i> Легкие бетоны на основе природных органических веществ и магнезиального вяжущего .....	208
<i>Дергунов С.А., Юкова К.В., Махина Д.С., Сериков С.В.</i> Применение шлаков черной металлургии в дорожном строительстве .....	213
<i>Зеленковская Ж.Л., Бабицкий В.В.</i> Структурно-механическое моделирование твердения монолитного бетона с комплексными химическими добавками .....	217
<i>Марко О.Ю., Батяновский Э.И.</i> Эффективность введения в бетон углеродного наноматериала .....	226
<i>Гуриненко Н.С., Батяновский Э.И.</i> Особенности технологии конструкционного бетона с полифункциональной добавкой .....	236
<i>Корсун А.М., Батяновский Э.И.</i> К вопросу повышения морозостойкости цементного бетона за счет искусственно создаваемой пористости .....	246
<i>Суханевич М.В.</i> Наномодификация цементных композитов с использованием отходов промышленности .....	256

<i>Савенко В.И., Журавский А.Д., Полосенко А.В., Высоцкая Л.Н.</i> Экомодификаторы ржавчины растительного происхождения, безопасные для человека и окружающей среды .....	261
<i>Шабанов Д.Н., Ягубкин А.Н., Боровкова Е.С.</i> Мониторинг уровней динамики структурообразования цементного камня методом акустической эмиссии и прогнозирование ресурса на его этапах твердения .....	272
<i>Лазовская И.В., Тур В.В.</i> Исследование составов серобетона на основе местного сырья .....	279
<i>Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Жданок С.А.</i> Определение влияния высокотемпературной парогазовой обработки на изменение фазового состава углеродного наноматериала, используемого для повышения набора прочности конструкционного бетона .....	284
<i>Полонина Е.Н., Леонович С.Н.</i> Комплексная нанодисперсная система для модифицирования тяжелого бетона .....	292
<i>Долгонон А.В., Бакатович А.А.</i> Оценка перспективности использования растительных заполнителей для стеновых блоков на основе физических параметров сырья ....	297
<i>Сафончик Д.И.</i> К вопросу о целесообразности использования различных видов фибры в бетонах .....	306
<i>Булай Т.В., Кузьменков М.И., Шалухо Н.М.</i> Влияние наполнителей на свойства композиционного серосодержащего материала .....	313
<i>Катульская А.С., Парфёнова Л.М.</i> Прочность и водостойкость гипсового камня с байпасной и керамзитовой пылью .....	317
<i>Шведов А.П.</i> Использование электрической энергии в строительной отрасли Республики Беларусь .....	322
<i>Хватынец В.А., Парфёнова Л.М.</i> Современный уровень развития строительных 3D-принтеров .....	327
<i>Проваторова Г.В.</i> Пути повышения качества дорожных битумов .....	332
<i>Юдин И.И., Закревская Л.В.</i> Пути повышения эффективности укрепления грунтов за счет поверхностно-активных веществ (ПАВ) .....	337
<i>Андреева К.А., Закревская Л.В.</i> Отделочные материалы на основе вяжущего из доломита .....	341
<i>Вихрев А.В., Герасимов А.И.</i> Армирование асфальтобетонных покрытий пожарных проездов, подъездных путей и внутридомовых территорий геосинтетическими материалами .....	346
<i>Турчанинов В.И., Кабанова В.В., Лагизова Т.В.</i> Использование химического гипса в производстве строительных материалов .....	351
<i>Макаева А.А., Шерстнев С.В., Шерстнев Ю.В.</i> Особенности применения асфальтобетона литого типа .....	357
<i>Макаева А.А., Марсакова Е.В.</i> Возможности вариантов декинга для реализации производственного процесса .....	361
<i>Макаева А.А., Болдинова С.Д.</i> Применение металлических гофрированных труб в дорожном строительстве .....	366
<i>Дергунов С.А., Махина Д.С., Юкова К.В., Орехов С.А.</i> Потенциальные возможности внедрения технологий ресурсосбережения в производстве строительных материалов .....	371
<i>Дергунов С.А., Якунин Н.Н., Сатюков А.Б., Спирина А.Ю.</i> Функциональные материалы для проектирования и строительства цементно-бетонных дорог .....	375
<i>Тарановская Е.А., Дергунов С.А., Селезнев А.А., Юкова К.В.</i> Роль нефтегазовой отрасли в развитии дорожного хозяйства .....	381
<i>Дергунов С.А., Сериков С.В., Серикова О.В., Махина Д.С.</i> Перспективы применения шлаков черной металлургии .....	386
<i>Рубцова В.Н., Хасанова А.А.</i> Композиционное гипсовое вяжущее .....	392

<i>Бондарович А.И., Рябчиков П.В.</i> Методика оперативного контроля (оценки) морозостойкости вибропрессованного бетона .....	397
<i>Обромпальский Р.Л., Бакатович А.А.</i> Теплоизоляционные композиты на основе волокон коры эвкалипта .....	405
<i>Романовский С.А., Бакатович А.А.</i> Технологические и эксплуатационные характеристики теплоизоляционных плит из льняных очёсов .....	411
<i>Камеко А.С., Парфенова Л.М.</i> Применение серы и резиновой крошки в асфальтобетонных смесях .....	419

#### Секция IV

### ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И УПРАВЛЕНИЕ НЕДВИЖИМОСТЬЮ

<i>Журавская Н.Е., Белова А.И.</i> Детерминанты оптимизации инновационных интегрированных технологий в строительной отрасли .....	424
<i>Рыжакова Г.М.</i> Модернизационные детерминанты трансформации общественно-территориальных систем в контексте проблемы устойчивого развития экономики Украины .....	427
<i>Прохоров С.В., Федорова О.А.</i> Организационные мероприятия по повышению энергоэффективности строительного производства .....	434
<i>Голушкова О.В., Голушков А.М., Титов А.А.</i> Использование BIM-технологий в организации строительства объектов .....	440
<i>Серяков Г.Н.</i> Методологические аспекты организации строительства в условиях инновационного развития экономики .....	445
<i>Титок В.В.</i> Организационно-экономические аспекты развития строительства социального жилья .....	453
<i>Дергунов С.А., Бердигулова З., Спирина А.Ю.</i> Актуальные проблемы в организации строительства автомобильных дорог .....	459

#### Секция V

### ЭНЕРГОРЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

<i>Гламаздин П.М., Гламаздина А.Д.</i> Использование аккумуляторов теплоты для электрических систем теплоснабжения .....	463
<i>Антипова А.В., Мельников В.М.</i> Совершенствование системы теплоснабжения промышленного предприятия .....	468
<i>Ющенко В.Д., Лесович Е.В., Жуковский В.В.</i> Особенности выбора типа мембран при обессоливании воды обратным осмосом .....	475
<i>Нияковский А.М.</i> Выбор энергоэффективных режимов работы теплотехнологического оборудования для ускоренной гидратации бетонных изделий .....	482
<i>Королева Т.И., Василевич Д.А., Гапеев И.В.</i> Оптимизация энергосбережения в учреждениях образования .....	492
<i>Зафатаев В.А., Ланкович С.В., Лапезо А.С.</i> Термодинамическое обоснование применения системы приточно-вытяжной вентиляции зданий с утилизацией теплоты удаляемого воздуха в условиях её работы при низких температурах наружного воздуха .....	499

<i>Пивоварова С.И., Василевич Н.А., Василевич Д.А., Бобкова Е.В.</i> Энергосберегающие системы водяного отопления с использованием возобновляемых источников энергии для гражданских зданий с высотой этажа более четырех метров .....	514
<i>Вихрев А.В.</i> Современные методы очистки сточных вод на инженерных сооружениях автомобильных дорог .....	523
<i>Борисов Б.Н., Двибородчин В.Д., Стариков А.Н.</i> Перспективные направления очистки дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов .....	527
<i>Велюго Е.С., Юценко В.Д., Козицин Т.В.</i> Изучение фильтрующих свойств цеолитовых загрузок для обезжелезивания подземных вод Полоцкого региона .....	533

Секция VI

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО АРХИТЕКТУРНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

<i>Леонович С.Н., Трепачко В.М., Харитончик С.В.</i> Кадры для строительной отрасли: научно-исследовательский аспект .....	539
<i>Леонович С.Н., Трепачко В.М., Харитончик С.В.</i> Кадры для строительной отрасли: образовательный аспект .....	546
<i>Журавская Н.Е., Белова А.И., Коваль С.П.</i> Проблемные аспекты молодежного рынка труда в Украине .....	560
<i>Савченко А.М., Заика А.А.</i> Проблемы высшего архитектурного и строительного образования в Украине с учетом интеграции в Европу .....	567
<i>Турищев Л.С.</i> Об опыте применения проектного обучения для студентов строительной специальности .....	572
<i>Жарков М.В., Железнов С.А., Проваторова Г.В.</i> Пути повышения качества подготовки специалистов для дорожной отрасли .....	577
<i>Кисель Е.И., Срывкина Л.Г.</i> Применение инновационных методов и средств при изучении курса «Организация и управление в строительстве» в вузе .....	582
<i>Василевский А.В.</i> Реализация метода проектов в подготовке инженеров-строителей .....	592
<i>Кучеровская В.В., Рычкова А.Н.</i> Опыт работы кафедры дизайна по популяризации исторического и культурного наследия (на примере дипломных и курсовых работ по графическому и средовому дизайну) .....	598
<i>Жуков Д.Д.</i> Особенности преподавания учебной дисциплины «Архитектоника объемных форм» студентам специализации «Дизайн интерьеров» .....	603
<i>Киреева Ю.И.</i> Технология преподавания материаловедения для студентов специальности «Дизайн (предметно-пространственной среды)» .....	613
<i>Кузякова О.Д.</i> Овладение наброском как профессиональным навыком архитектора для работы над клаузурой .....	617