

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

*Текстовое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2021

УДК 72:624/628+69(082)

Одобрено и рекомендовано в качестве электронного издания  
Советом инженерно-строительного факультета (протокол № 8 от 27.10.2021 г.)

**Редакционная коллегия:**

Д. Н. Лазовский (председатель), А. А. Бакатович, Е. Д. Лазовский,  
Л. М. Парфенова, Ю. В. Вишнякова, Р. М. Платонова, Е. Г. Кремнева, А. М. Хаткевич

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

[Электронный ресурс] : электрон. сб. ст. III междунар. науч. конф., Новополоцк, 29–30 апр. 2021 г. / Полоц. гос. ун-т ; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-779-2.

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 г.*

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 978-985-531-779-2**

©Полоцкий государственный университет, 2021

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  
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Технический редактор *И. Н. Чапкевич*.

Компьютерная верстка *А. А. Прадидовой, С. Е. Рясовой*.

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

---

Подписано к использованию 16.11.2021.

Объем издания: 13 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 736.

---

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	<b>Лазовский Дмитрий Николаевич</b> , профессор, доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций Полоцкого государственного университета, (Беларусь)
Заместитель председателя Программного комитета	<b>Лазовский Егор Дмитриевич</b> , кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций Полоцкого государственного университета (Беларусь)
Члены Программного комитета	<p><b>Тур Виктор Владимирович</b>, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета (Беларусь)</p> <p><b>Батяновский Эдуард Иванович</b>, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов Белорусского национального технического университета (Беларусь)</p> <p><b>Леонович Сергей Николаевич</b>, профессор, доктор технических наук, декан строительного факультета Белорусского национального технического университета (Беларусь)</p> <p><b>Флориндо Гаспар</b>, профессор, PhD, Политехнический институт г. Лейрия (Португалия)</p> <p><b>Кижиниевич Ольга</b>, профессор, PhD, Институт строительных материалов, Вильнюсский технический университет им. Гедеминаса (Литва)</p> <p><b>Журавская Наталья Евгеньевна</b>, доцент, кандидат технических наук, Киевский национальный университет строительства и архитектуры (Украина)</p> <p><b>Дергунов Сергей Александрович</b>, доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой автомобильных дорог и строительных материалов Оренбургского государственного университета, директор испытательного центра «Оренбургстройиспытания» (Россия)</p> <p><b>Бакатович Александр Александрович</b>, доцент, кандидат технических наук, декан инженерно-строительного факультета Полоцкого государственного университета (Беларусь)</p> <p><b>Волик Алла Ричардовна</b>, кандидат технических наук, доцент, декан строительного факультета Гродненского государственного университета им. Янки Купалы (Беларусь)</p> <p><b>Голушкова Ольга Васильевна</b>, кандидат технических наук, доцент, декан строительного факультета Белорусско-Российского университета (Беларусь)</p> <p><b>Сафончик Дмитрий Иосифович</b>, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительного производства Гродненского государственного университета им. Янки Купалы (Беларусь)</p> <p><b>Парфенова Людмила Михайловна</b>, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой строительного производства Полоцкого государственного университета (Беларусь)</p> <p><b>Платонова Раиса Михайловна</b>, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой архитектуры Полоцкого государственного университета (Беларусь)</p> <p><b>Вишнякова Юлия Валентиновна</b>, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой теплогазоводоснабжения и вентиляции Полоцкого государственного университета (Беларусь)</p>

## СОСТАВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Сопредседатели оргкомитета:

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

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

Члены оргкомитета:

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

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

**Вишнякова Юлия Валентиновна**, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой теплогазоводоснабжения и вентиляции, Полоцкий государственный университет (Беларусь)

Секретариат конференции:

**Кремнева Елена Геннадьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций

**Гиль Артур Иванович**, ассистент кафедры строительных конструкций

**Хаткевич Александр Михайлович**, старший преподаватель кафедры строительных конструкций

**Вишняков Николай Николаевич**, старший преподаватель кафедры строительных конструкций

Секция I  
АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 72.036

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ПРИЕМОВ НАРОДНОГО ЗОДЧЕСТВА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ  
В ПОСЛЕВОЕННОЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ (1946–1956 гг.)

**С.С. Духанов**

Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств (НГУАДИ)  
имени А.Д. Крячкова, Российская Федерация  
e-mail: [ngaha-konf-2013@yandex.ru](mailto:ngaha-konf-2013@yandex.ru)

*Выявляются основные проблемы освоения приемов народного зодчества в архитектурной практике Западной Сибири послевоенного десятилетия. Решение этих проблем было непосредственно связано с профессиональной архитектурной деятельностью и способствовало развороту архитекторов Западной Сибири к окружающей их реальности и изучению местных условий. Благодаря этому народное зодчество сыграло важную роль в развитии архитектурной мысли и практики Западной Сибири второй половины 1940-х – середины 1950-х гг. Исследование основано на архивных источниках.*

**Ключевые слова:** история советской архитектуры; народное зодчество; Западная Сибирь.

PROBLEMS OF MASTERING THE TECHNIQUES OF FOLK ARCHITECTURE IN THE CONDITIONS  
OF WESTERN SIBERIA IN THE POST-WAR DECADE (1946-1956)

**S. Dukhanov**

Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts (NSUADA), Russian Federation  
e-mail: [ngaha-konf-2013@yandex.ru](mailto:ngaha-konf-2013@yandex.ru)

*The article reveals the main problems of mastering the techniques of folk architecture in the architectural practice of Western Siberia in the post-war decade. The solution of these problems was directly related to the professional architectural activity and contributed to the turn of the architects of Western Siberia to the surrounding reality and the study of local conditions. Thanks to this, folk architecture played an important role in the development of architectural thought and practice in Western Siberia in the second half of the 1940s – mid-1950s. The research is based on archival sources.*

**Keywords:** history of Soviet architecture; folk architecture; Western Siberia.

**Введение.** Как свидетельствуют архивные документы, освоение приемов народного зодчества было одним из важнейших направлений развития архитектурной мысли и практики Западной Сибири послевоенного десятилетия (1946–1956 гг.). Однако практическая сторона изучения народного зодчества и возникшие при освоении его приемов проблемы профессиональной архитектурной деятельности не рассматривались на историко-архивном материале. Как правило, историки архитектуры лишь упоминали о связи исследований сибирской народной архитектуры с архитектурной практикой [1, с. 149; 2, с. 35, 43, 53].

Рассматриваются первоисточники 1940–1950-х гг., отразившие архитектурную практику того времени: материалы творческих конкурсов и совещаний, реальные и учебные проекты, фотофиксации осуществленной застройки. Выявляются основные проблемы освоения приемов народного зодчества в условиях Западной Сибири.

**Основная часть.** Выявлены следующие основные группы проблем.

1. Первая группа проблем была связана с необходимостью достаточно болезненной перестройки самих архитекторов – принятия ими народного зодчества и в целом малоэтажного строительства в качестве полноценного направления профессиональной деятельности.

Подобная архитектура устойчиво ассоциировалась у современников с временной, барачной застройкой первых пятилеток, которая была осуждена в начале 1930-х гг., так как противоречила официально провозглашенному курсу на создание «постоянного» капитального города из многоэтажных, в 4–5 этажей, зданий. В годы войны малоэтажное строительство оказалось в эпицентре профессиональной деятельности, но, несмотря на это, отношение к нему местных архитекторов, как свидетельствуют материалы творческих совещаний конца войны и первых послевоенных лет, продолжало оставаться неоднозначным.

С одной стороны, многие архитекторы Западной Сибири уже в годы войны приняли его как полноценный объект профессиональной деятельности. Они указывали на барачную застройку 1930-х гг., как на яркий пример того, что «все временные виды жилого строительства фактически не являются временными» и поэтому при разработке архитектурно-художественного и инженерно-конструктивного решения малоэтажного жилья «будет правильным исходить из достаточной долговременности (15–25 лет) этого строительства» [3, л. 37об.].

С другой стороны, значительное число архитекторов, по-прежнему считало единственным достойным внимания объектом профессиональной деятельности лишь каменное многоэтажное строительство. Они не приняли опыт проектирования 1941–1945 гг., ведь он не был связан с созданием «образцов монументальной архитектуры». Для таких архитекторов малоэтажное строительство так и осталось вынужденной мерой военных лет, «черновой работой», не заслуживающей серьезного отношения [4, л. 7об., 8; 5, л. 12об.–13].

2. Вторая группа проблем была связана с необходимостью активного включения в строительный процесс индивидуального застройщика и адаптации проектных решений к ограниченным финансовым и техническим возможностям последнего. В довоенный период архитекторы Западной Сибири были привязаны к профессиональной домостроительной базе – строительным организациям промышленных предприятий и горсоветов и работали в направлении все большего внедрения в практику индустриальных методов строительства. Во время войны и первые послевоенные годы ситуация резко изменилась. Решающая роль в возведении и архитектурно-художественном оформлении массового жилища была отведена индивидуальному застройщику. Последний был ограничен в финансовых средствах и мог применять лишь самые примитивные, неиндустриальные, методы строительства и соответствующие строительные материалы.

Чтобы разрабатывать проекты под ручные техники, архитекторы сами должны были в определенной мере владеть ими. Так, декоративные элементы должны были соответствовать уровню мастера средней квалификации – быть элементарно простыми по исполнению в натуре. Формы порезок должны были строиться из прямых очертаний и не иметь кривых линий. Следовало избегать отдельных мелких деталей, пришиваемых гвоздями, и отдавать предпочтение «формам, выпиленным или вытесанным в целом элементе (брусе, доске)» [6, л. 6].

Переориентация на индивидуального застройщика потребовала переосмысления и приемов народного зодчества – с точки зрения материалов и конструкций. Основное внимание архитекторов того времени было приковано к наиболее сохранившемуся деревянному народному зодчеству Западной Сибири, которое основывалось на срубных конструкциях из крупных бревен сосны, ели, лиственницы или кедра [7, с. 194; 8, с. 61].

Между тем, индивидуальный застройщик был жестко привязан к стройматериалам естественного происхождения, которые не только существенно отличались по разным районам Западной Сибири (степным, таежным, горным и тундровым), но и были мало изучены. По условиям конкурсов следовало применять: для степных районов – кирпич, саман и камышит, для таежных и лесостепных – дерево, для Кузбасса – промышленные отходы (шлакобетонные камни), для верховьев сибирских рек – бутовый камень [9, л. 1об.; 10, с.88, 89–91, 96–97]. Кроме того, подчеркивалось, что «опыт народного строительства из грунтов также должен найти применение в проектах типовых жилищ» [3, л. 16об.–17]. Отсюда вынужденный эклектизм конструктивных решений, например, сочетание кирпича с деревом и т.д. [11, л. 5об., 7].

Таким образом, с одной стороны, объекты проектирования стали меньше, а с другой стороны, проектировать их стало гораздо труднее, так как теперь приходилось учитывать значительно большее число сложно взаимосвязанных факторов.

3. Третья группа проблем была связана с тем, что освоение приемов народного зодчества, особенно во второй половине 1940-х гг., шло параллельно с его изучением. Пик архитектурных конкурсов на малоэтажное строительство пришелся на 1945–1949 гг. С 1945–1946 гг. областные отделы по делам архитектуры стали организовывать экспедиции в различные районы Западной Сибири «в целях выявления особенностей сибирского народного зодчества», приемов строительства и местных строительных материалов [12, л. 2]. На обработку и издание собранных сведений требовалось время. В результате первые важнейшие исследования по сибирскому народному зодчеству были опубликованы лишь в 1950–1953 гг. – они принадлежали архитектору Е.А. Ащепкову: «Русское деревянное зодчество» (1950 г.), «Русское народное зодчество в Западной Сибири» (1950 г.) и «Русское народное зодчество в Восточной Сибири» (1953 г.).

Возникло противоречие. С одной стороны, одним из важнейших условий архитектурных конкурсов на малоэтажное строительство второй половины 1940-х гг. неизменно было «использование архитектурного наследия Западной Сибири» [9, л. 1]. С другой стороны, знание этого наследия местными архитекторами в то время оставляло желать лучшего. Одним из первых на эту проблему обратил внимание ленинградский архитектор А.И. Гегелло. Выступая в 1943 г. с докладом в Новосибирском отделении Союза советских архитекторов, он отметил недостатки деревянных построек Новосибирска 1930-х – начала 1940-х гг.: «вы, очевидно, мало изучали то, что у вас под руками», поскольку за редким исключением «то, что я видел в натуре по деревянным постройкам, меня мало удовлетворяло. Характер не тот, который надо было ожидать здесь, в Сибири» [13, л. 5].

Архитектурные конкурсы второй половины 1940-х гг., вместе с определенными достижениями, показали две негативные тенденции. С одной стороны, незнание наследия и приемов народного зодчества вело к плохой прорисовке архитектурных деталей, которые во многом определяли образ небольших объектов. В результате, «сухость, робость форм в дереве делают их малозаметными, невыразительными и приближают здания по внешнему образу к баракам» [12, л. 7]. С другой стороны, попытка почерпнуть недостающие сведения из доступных дореволюционных изданий вела к тому, что, как было сказано в резюме одного из конкурсов 1946 г., некоторые авторы «допустили воспевание феодально-помещичьего строя, не хотят искать новую советскую архитектуру, смакуют старые отжившие формы» [9, л. 9].

О том, что проблема изучения народного зодчества сохранялась и в дальнейшем, свидетельствуют выступления архитекторов на творческих совещаниях начала 1950-х гг. Так, в 1951 г. новосибирский архитектор Н.С. Кузьмин призывал коллег «глубоко изучать опыт народного классического зодчества», чтобы «сохранять здания в чистоте на долгие годы». Кузьмин делал акцент на конструктивных решениях: произведения сибирской народной архитектуры «правдиво противостоят природе» именно потому, что сибирские плотники «прекрасно знали климат»: делали большие карнизы, повалы, напуски, водотечники, защищающие дом [14, л. 104].

4. Четвертая группа проблем связана с тем, что задачи архитектуры послевоенного десятилетия способствовали формированию во многом противоположных оценок двух неразрывно связанных сторон сибирской народной архитектуры – функциональной и художественно-образной.

С одной стороны, изучение народного зодчества Западной Сибири дало местным архитекторам целый набор готовых приемов и принципов, обеспечивающих устойчивость зданий к суровым сибирским природно-климатическим условиям. В 1944 г. архитектор И.Д. Белогорцев, начальник Новосибирского областного отдела по делам архитектуры, выступая с докладом, подчеркивал, что произведения народной архитектуры «всегда были крепко связаны с особенностями местного климата». Поэтому, например, в степных районах Западной Сибири «избы и надворные постройки, возведенные из самана, дерева и грунто-блоков, выдерживают 80-100 лет эксплуатации, не разрушаясь от воздействия климатических условий» [3, л. 16об.–17].

Исследования показали, что планировка традиционной крестьянской усадьбы в Западной Сибири имела закрытый характер: расположение хозяйственных построек по периметру усадьбы, наличие глухих заборов, крытых ворот и двора, связей избы со службами и т.д. Это защищало внутреннее пространство с посадками от господствующих в Западной Сибири юго-западных ветров и способствовало снегозадержанию на огородах [7, с. 189, 191; 8, с. 25–28]. Принцип замкнутой планировки нашел отражение во многих проектах, в том числе учебных, которые в послевоенное десятилетие разрабатывались для сельских районов Западной Сибири (рисунок 1). В непростых социально-экономических условиях того времени высокие глухие ограды оказались востребованы и в индивидуальной застройке городов – как «более обеспечивающие безопасность, о которой особенно заботится хозяин, имеющий домашних животных или ценные насаждения» [6, л. 5]. Показательно, что это противоречило общесоюзной установке 1930-х – 1950-х гг. на «открытость» советской архитектуры.

Опыт изучения сибирского народного зодчества сыграл положительную роль при переработке типовых проектов малоэтажных зданий, которые массово внедрялись в строительную практику Западной Сибири в послевоенное десятилетие. Эти проекты создавались на основе опыта, полученного в европейской части страны, и не отвечали климатическим условиям Западной Сибири и местным особенностям быта.

В конце 1940-х гг. при обсуждении альбомов типовых проектов малоквартирных жилых домов сибирские архитекторы указывали на недопустимость применения в Западной Сибири так называемых «летних комнат», в которые можно было попасть лишь по приставным наружным лестницам, открытых веранд и сплошных парапетов («накопителей осадков»), говорили о необходимости подполья, теплых уборных и т.п. [16, л. 60, 74–75, 78, 129–130]. Как правило, еще на стадии переработки проектов местные проектные организации убирали парапеты, а открытые веранды зашивали или остекляли.

Архитектор А.Д. Крячков был одним из первых, кто обратил внимание на несоответствие конструктивных узлов типовых проектов сибирским климатическим условиям. Исходя из результатов изучения народного зодчества, он считал, что в Сибири основным украшением дома должен быть функциональный элемент – карниз с большим выносом, защищающий стены от замачивания [7, с. 218]. Напротив, предлагаемые типовыми проектами малые свесы карнизов нецелесообразны, особенно при «стенах с обнаженной структурой древесины, подверженной усиленному воздействию атмосферных осадков» [7, с. 223].

Для сибирского народного зодчества были характерны компактные объемно-планировочные решения, спокойные силуэты, отсутствие резких выступов [7, с. 191, 194; 8, с. 32]. В связи с этим показательны результаты конкурсов на проекты малоквартирных домов, клубов, райсоветов, заезжих домов с чайными, сельских магазинов и т.п. послевоенного десятилетия. Лучшие

проекты общественно-культурных и жилых зданий были решены одним большим объемом, имели предельно простые формы плана и кровель. Незащищенные свесами кровли выступы (фигурные парапеты, слуховые окна, картуши) и резные детали (акротерии и т.п.) практически не применялись. Цветовое решение зданий строилось на сочетании окрашенных деревянных деталей с кирпичными, брусчатыми или оштукатуренными стенами [12, л. 3–4; 11, л. 5об.–6, 7–7об., 18–21; 9, л. 10–17] (рисунок 2).

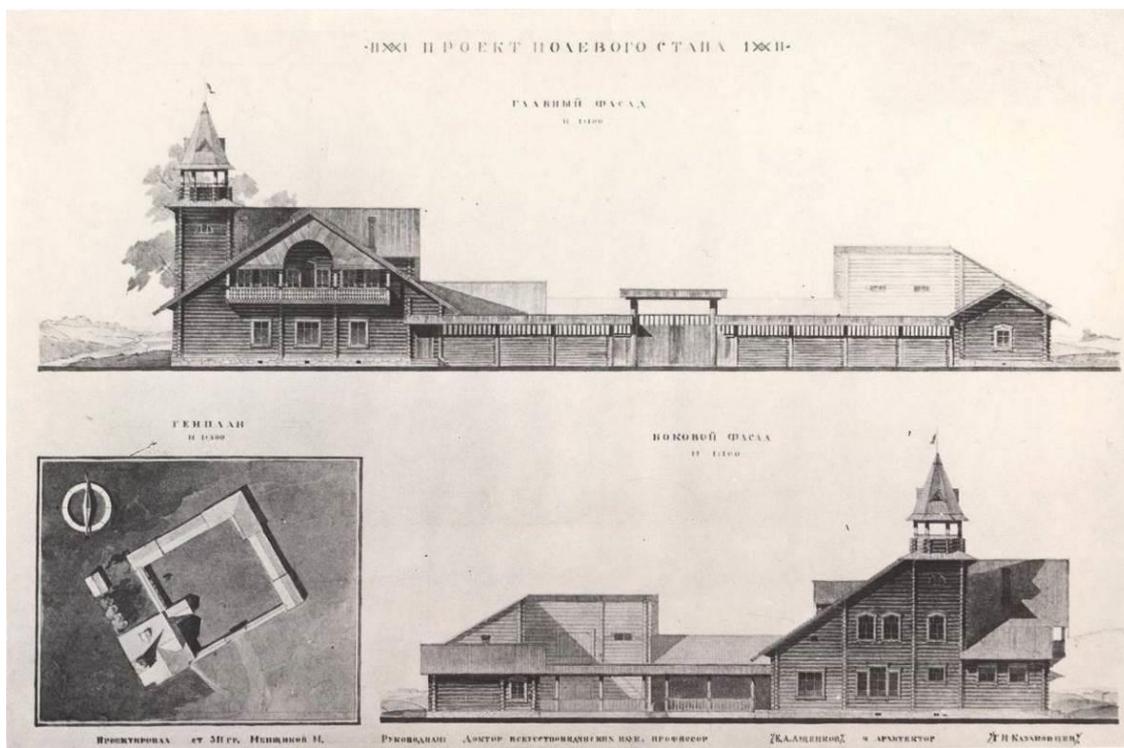


Рисунок 1. – Учебный проект полевого стана. Автор: студ. Н. Меншиков. Рук.: арх. Е.А. Щепков, Г.М. Казаковцев. Кафедра архитектуры Новосибирского инженерно-строительного института (НИСИ) им. В.В. Куйбышева, 1951 г. [15]

С другой стороны, художественный образ народной архитектуры Западной Сибири потребовал серьезного переосмысления. В 1944 г. архитектор Крячков отмечал, что в Западной Сибири формы народной деревянной архитектуры, пришедшие с русского Севера, уже в XVII в. «стали предельно просты, мощны и в унисон с природой – суровы. Тяжелая обстановка подневольного, изнурительного труда и бытовых лишений не способствовала развитию жизнерадостной архитектуры» [7, с. 186]. У старой сибирской деревни «монотонный и серый» силуэт, «она не красочна» [7, с. 188, 189]. Такая историческая черта, связанная с периодом, когда Сибирь была местом ссылки, резко расходилась с послевоенной установкой на мажорность и приподнятость архитектурных образов.

Для оживления облика зданий местные архитекторы активно включали в свои проекты несвойственные народному зодчеству Западной Сибири вертикальные элементы: флагштоки, башни, высокие шатры и дымовые трубы [12, л. 3, фото 2; 11, л. 18, фото 2; 17, л. 12; 18, с. 46–48].

Стремление к компактному объемно-планировочному решению при высоте в 1–2 этажа и простой форме кровель вело к появлению широких массивных фронтонов, которые противоречили послевоенной установке на «легкость» архитектуры. Отсюда характерный элемент во многих проектах общественно-культурных и административных зданий (клубов, столовых

и др.) – легкие сквозные кирпичные или деревянные решетки во фронтонах [11, л. 18об., 19об., 20; 19, № 28565, 28566], которыми архитекторы стремились зрительно облегчить главный фасад (рисунок 3). Аналогом таких решеток в дипломных проектах стали яркие росписи и разнообразная обшивка рейкой [18, с. 47–49].

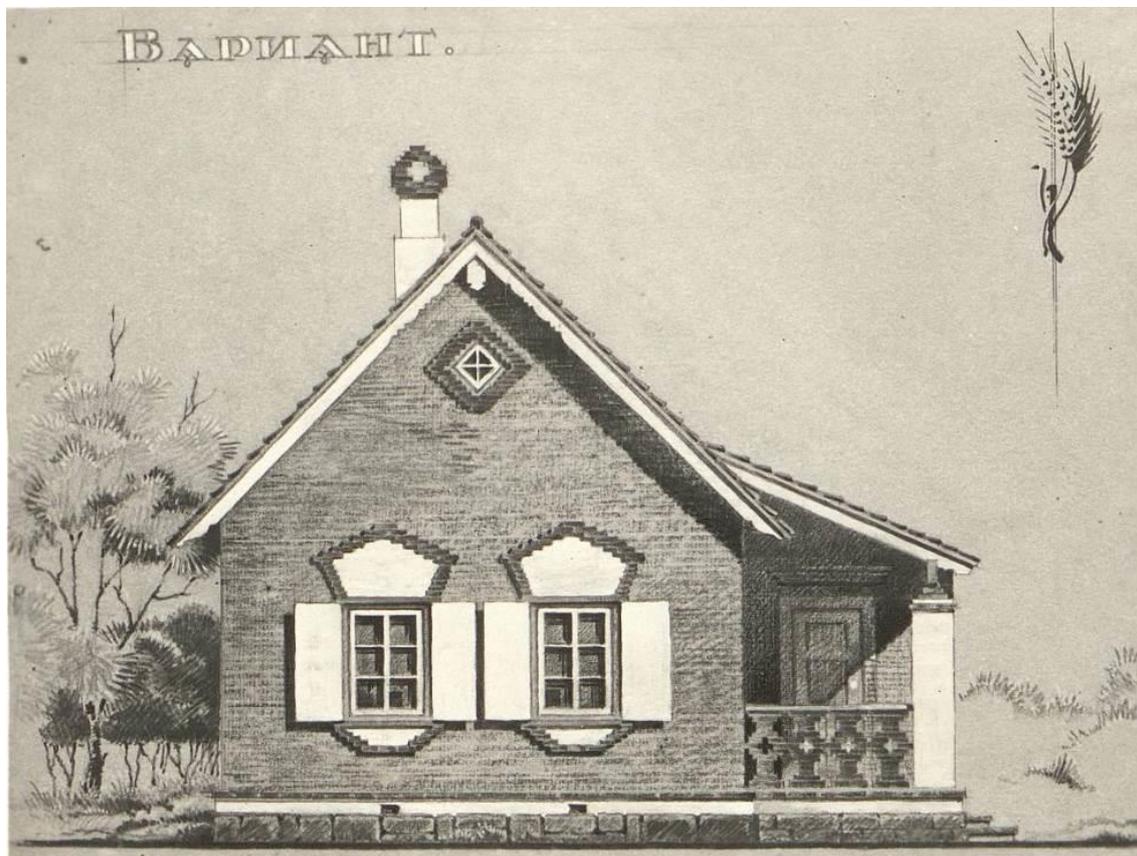


Рисунок 2. – Конкурсный проект трехкомнатного жилого дома для сельских районов Западной Сибири. 2-я премия. Автор: арх. Л.И. Семенов, 1947 г. [11, л. 18, фото 2]

В послевоенные годы возросло значение декоративного убранства зданий, но примеры поврежденных непогодой фасадов свидетельствовали о том, «что сибирская природа сделает с обильными деталями, украшающими фасад» благодаря талому снегу, дождям и холоду всего за один-два года [14, л. 100, 103–104]. Поэтому в проектах и постройках послевоенного десятилетия декоративные элементы, как правило, были немногочисленны и размещались в наиболее защищенных от непогоды местах.

Суровые климатические условия и отсутствие в Западной Сибири того времени качественных красителей, ограничивали широкое применение цвета. Так, один из конкурсных проектов в 1947 г. критиковался экспертами за то, что предложенная автором «роспись по дереву за отсутствием атмосфероустойчивых красок невыполнима» [11, л. 5об.]. При этом архитекторы понимали, что цвет нужен: в Западной Сибири в течение почти 8 месяцев господствовали серо-белые тона, и лишь нарядная архитектура могла украсить унылую природную среду. В этих условиях предлагалось отказаться от покраски больших деревянных поверхностей (стен, заборов), открытых воздействию непогоды, а для «оживления и обогащения формы» окрашивать небольшое число наиболее значимых и защищенных от непогоды деталей, используя при этом яркие чистые тона [6, л. 7].

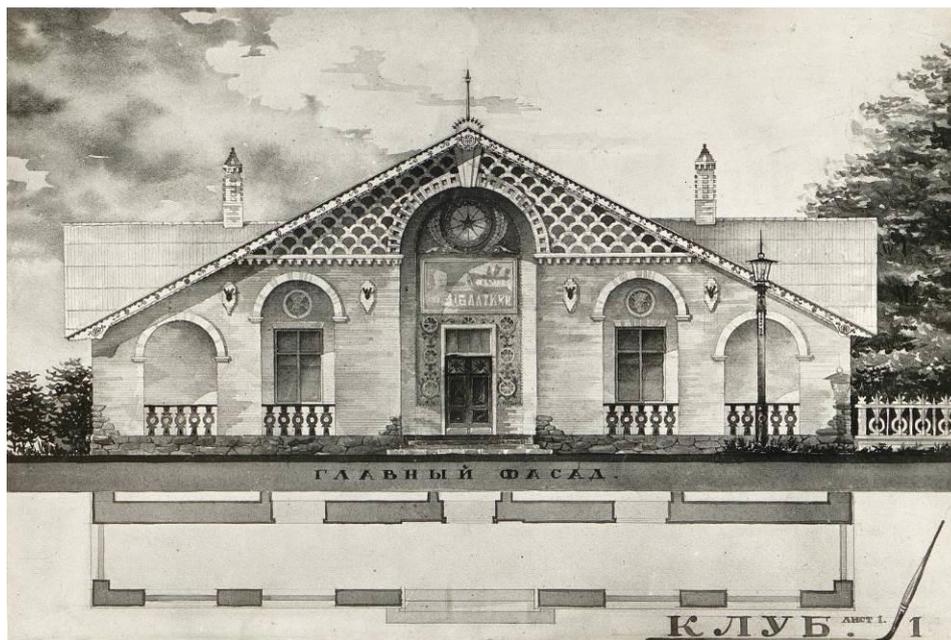


Рисунок 3. – Конкурсный проект клуба с залом на 100 мест для сельских районов Западной Сибири. 1-я премия. Главный фасад. Автор: арх. В.К. Петровский, 1947 г. [11, л. 19об.]

Этот подход к декоративно-цветовому решению нашел отражение в проектах и реализованных постройках. Жилые дома из дерева, строившиеся во второй половине 1940-х – начале 1950-х гг., как правило, вообще не окрашивались – только переплеты и ставни [20, л. 8]. Жилые дома из грунто-блоков первой половины 1950-х гг. белились, а их кровли и стандартные детали заводского изготовления (переплеты, ставни) ярко окрашивались [21, л. 13, 15]. У деревянных общественно-культурных зданий 1940-х – середины 1950-х гг. окрашивались небольшие по размеру элементы – переплеты окон, ставни, наличники и причелины. Их декоративное убранство было богаче, чем у жилых зданий [19, № 28565, 28566]. Благодаря индивидуальному декоративному решению (роль индивидуального застройщика) яркий праздничный облик получали даже типовые проекты (рисунок 4).



Рисунок 4. – Дом культуры в г. Таре (1952–1953 гг.). Фотография 1960–1961 гг. [22]

**Заключение.** Таким образом, при освоении приемов народного зодчества перед архитекторами Западной Сибири встали главным образом проблемы профессиональной архитектурной деятельности, решение которых зависело от самих архитекторов. Благодаря этому изучение народного зодчества стало важным этапом в развитии архитектурной мысли и практики Западной Сибири. Оно сыграло значимую роль в разработке проектов для массового строительства. Потребовало от архитекторов пусть болезненной, но полезной профессиональной перестройки, развернув и приблизив их к реальности: природно-климатическим и бытовым условиям региона. Реабилитировало само народное зодчество с профессиональной точки зрения. Многие архитекторы осознали тот факт, что народное зодчество – не пережиток прошлого, а «живая история», бесценный опыт предшественников, содержащий в себе колоссальный творческий потенциал для решения самых различных задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баландин, С.Н., Крячков А.Д. Сибирский архитектор / С.Н. Баландин. – Новосибирск: Новосибирское кн. изд-во, 1991. – 160 с.
2. Долнаков, А.П. Сибирский архитектор Е.А. Ащепков / А.П. Долнаков. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 119 с.
3. Государственный архив Новосибирской области (ГАО). Ф. Р-1444. Оп. 1. Д. 32.
4. ГАО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 30.
5. ГАО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 27.
6. ГАО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 37.
7. Крячков, А.Д. Влияние климата и природы на строительство и архитектуру в Сибири: Дис. ... д-ра архитектуры / А.Д. Крячков; Новосиб. инж.-строит. ин-т им. В.В. Куйбышева. – Новосибирск, 1944. – 307 с.
8. Ащепков, Е.А. Русское народное зодчество в Западной Сибири / Е.А. Ащепков. – М.: Акад. архитектуры СССР, 1950. – 140 с.
9. ГАО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 47.
10. Жилищное строительство: Сборник материалов по индивидуальному строительству и строительству хозяйственным способом / Омский обл.совет проф.союзов. Гор. отдел по делам строительства и архитектуры. – Омск: [б.и.], 1957. – 99 с.
11. ГАО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 57.
12. ГАО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 38.
13. ГАО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 21.
14. ГАО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 92.
15. Музей истории архитектуры Сибири (МИАС) имени С.Н. Баландина. № 2855. Э. 66-42. В. 10. Зал 3.
16. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Ф.А-150. Оп. 2. Д. 140.
17. ГАРФ. Ф.А-150. Оп. 2. Д. 108.
18. Проект «Восстановление»: каталог проектов новосибирских студентов-архитекторов 1942-1951 гг. / Авт.-сост.: Гаркуша Д.Д., Филонов С.В. – Новосибирск: НГАХА, 2015. – 60 с.
19. Омский областной музей изобразительных искусств (ОМИИ) имени М.А. Врубеля. Коллекция архитектурной графики 1930-1950-х гг.
20. ГАРФ. Ф.А-150. Оп. 3. Д. 51.
21. ГАРФ. Ф.А-150. Оп. 3. Д. 46.
22. Деревянное здание ДК в городском парке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pastvu.com/p/447106>. – Дата доступа: 21.04.2019.

УДК 625.7/.8

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СВОЕВРЕМЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЛОЯ ИЗНОСА  
ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯС.А. Дергунов<sup>1</sup>, А.Ю. Спирина<sup>2</sup>, И.В. Аблязова<sup>3</sup>, Д.С. Махина<sup>4</sup>

Оренбургский Государственный Университет, Российская Федерация

e-mail: [dergunow79@mail.ru](mailto:dergunow79@mail.ru)<sup>1</sup>, [alena0993@mail.ru](mailto:alena0993@mail.ru)<sup>2</sup>, [ablyazova.irina@gmail.com](mailto:ablyazova.irina@gmail.com)<sup>3</sup>,  
[dasha15\\_96@mail.ru](mailto:dasha15_96@mail.ru)<sup>4</sup>

Строительство автомобильных дорог – это комплекс работ, состоящий из нескольких этапов или технологических циклов. Переоценить важность ремонта дорог очень сложно. Ведь именно дороги являются одним из основных критериев, по которому можно производить оценку уровня развития страны, города или региона. В течение всего срока службы дорога находится под постоянным воздействием транспортных средств и внешней среды. Поэтому, своевременный ремонт нужен прежде всего для обеспечения безопасного и круглогодичного движения автомобилей с нормативными скоростями и нагрузками. Если не сделать своевременный ремонт слоя износа дорожного покрытия, то в место необходимого обновления слой износа поверхностной обработкой, нужно будет назначать ремонт по усилению или перестройке старой дорожной одежды.

**Ключевые слова:** износ, покрытие, ремонтные работы, контроль ровности, деформации, разрушения.

## MAJOR ASPECTS OF TIMELY RECOVERY OF THE WEARING CARPET

S. Dergunov<sup>1</sup>, A. Spirina<sup>2</sup>, I. Ablyazova<sup>3</sup>, D. Mahina<sup>4</sup>

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: [dergunow79@mail.ru](mailto:dergunow79@mail.ru)<sup>1</sup>, [alena0993@mail.ru](mailto:alena0993@mail.ru)<sup>2</sup>, [ablyazova.irina@gmail.com](mailto:ablyazova.irina@gmail.com)<sup>3</sup>,  
[dasha15\\_96@mail.ru](mailto:dasha15_96@mail.ru)<sup>4</sup>

*Road construction is a complex of works, consisting of several stages or technological cycles. It is very difficult to overestimate the importance of road repair. Roads are one of the major criterion which allows to evaluate the level of development of a country, city or region. Throughout its entire service life, the road has constant influence of vehicles and the external environment. Therefore, timely repairs are needed, first of all, to ensure the safe and all-seasons movement of vehicles with standard speeds and loads. In case of the wearing carpet repair failing, it is need to appoint repairs to strengthen or rebuild the old road surface instead to surface treatment of wearing carpet.*

**Keywords:** wearing, coating, repair works, evenness control, deformation, destruction.

Строительство автомобильных дорог – это комплекс работ, состоящий из нескольких этапов или технологических циклов. От качества выполнения каждого из них – добросовестности рабочих, соблюдения технологии и использования соответствующих материалов и дорожного оборудования, зависит и долговечность дорожного покрытия, и срок службы любой автомагистрали. А также при строительстве и эксплуатации автомобильные дороги должны соответствовать нормативным требованиям, направленным на обеспечение безопасности движения транспортных средств.

Переоценить важность ремонта дорог очень сложно. От того, в каком состоянии дорожное покрытие, зависит очень и очень многое – это и безопасность, здоровье и жизнь людей (причем не только водителей и пассажиров, но и пешеходов), безопасность самых транспортных средств, и многое другое, вплоть до того, в каком количестве и качестве поступают товары в наши магазины.

Именно дороги являются одним из основных критериев, по которому можно производить оценку уровня развития страны, города или региона.

Безопасность дорожного движения транспортных средств в течение всего периода эксплуатации автомобильных дорог, независимо от погодных условий, обеспечивается за счет достижения требуемых нормативных транспортно-эксплуатационных показателей дороги в процессе ее строительства и содержания. Жизненный цикл автомобильной дороги зависит от многих факторов, к которым можно отнести этапы, связанные как с проектной документацией, так и процессами строительства и эксплуатации во времени.

Но дорожное покрытие очень часто быстро изнашивается. Этому есть ряд многих причин. Наибольшее влияние на износ покрытия оказывают движущиеся транспортные средства. Процесс изнашивающего воздействия от транспортных средств выглядит следующим образом. Под нагрузкой, передаваемой на колесо, шина деформируется так, что на участке входа шины в зону контакта с покрытием в ней происходит сжатие, а на выходе — расширение. Таким образом в плоскости контакта точка шины движется с ускорением, большим по сравнению с тем, как она двигалась до входа в контакт с покрытием. В то же время угловая скорость в секторах практически одна и та же. Поэтому точка проходит по покрытию путь определенной длины с проскальзыванием вместо одного качения. Под действием этих усиленных касательных напряжений в плоскости следа происходит истирание дорожного покрытия. Наибольшие касательные напряжения и наибольший износ возникают при торможении автомобиля. При движении грузового транспорта износ покрытия оказывается примерно в 2 раза больше, чем при движении легкового.

Применение на транспортных средствах шин с шипами резко увеличивает износ дорожного покрытия. В момент соприкосновения колеса с покрытием каждый шип наносит по нему удар с большой скоростью. И хотя сам шип имеет небольшую массу, многократное повторение таких ударов по одному месту приводит к ослаблению материала покрытия. Помимо ударной нагрузки, шипы оказывают большое истирающее воздействие. Происходит это в момент выхода шипа из зоны контакта с покрытием и проскальзывания колеса по поверхности. При эксплуатации шин с шипами продолжительность износа асфальтированных покрытий сокращается в 2–3 раза.

Большое влияние на процесс износа дорожного покрытия оказывает неоднородность самого материала и нарушения технологии укладки и уплотнения слоев материала в течение строительства дороги, из которого в процессе износа происходит истирание и выбивание зерен минерального заполнителя (песка и щебня), отрыв и удаление мелкозернистой фракции (мельче 0,05 мм) вместе с битумом (если покрытие асфальтированное) или без него, вымывание битумного вяжущего при наличии воды или агрессивных растворов, способствует образованию дефектов в виде выбоин. Одновременно с этим на дорожных покрытиях наблюдается вертикальная просадка без образования трещин за счет деформаций грунтов земляного полотна и материалов конструктивных слоев дорожных одежд, что также влияет на качество дорожных покрытий.

Чем прочнее материал покрытия, тем меньше и равномернее происходит его износ. На покрытиях из мало прочных материалов интенсивность износа значительно выше, из-за чего чаще образуется колея и появляются выбоины. Применение в составе асфальтобетонной смеси щебня из изверженных пород взамен осадочных уменьшает износ покрытия на 60 %. Увеличение содержания битума с 5 до 7 % снижает износ на 50...80 %.

Даже в пределах проезжей части износ покрытия может происходить неравномерно, из-за чего по полосам наката образуется колея истирания, глубина которой может варьироваться от несколько миллиметров до 5 см и более. В таких колеях во время дождя создается значительный слой воды, что приводит к снижению сцепных качеств покрытия и возникновению эффекта аквапланирования. Аквапланирование – это потеря сцепления шины с поверхностью дорожного полотна из-за слоя воды на его поверхности. А в дальнейшем вода, проникая сквозь слои дорожной одежды в земляное полотно переувлажняет его, уменьшает несущую способность и зачастую способствует пучинообразованию.

В течение всего срока службы дорога находится под постоянным воздействием транспортных средств и внешней среды. Она подвержена активному воздействию многочисленных природных факторов, что учитывается при проектировании, строительстве и содержании дорог.

К климатическим условиям, оказывающим влияние на потребительские свойства дорог, относятся амплитуда колебания температуры, ее максимальное и минимальные значения, количество осадков, условия их испарения, направление и скорость ветра, мощность снежного покрова, глубина промерзания грунта.

При проведении работ по улучшению состояния дорожного покрытия должны устраняться крупные неровности с тем, чтобы опасность потери контроля над транспортным средством снижалась.

Различают следующие виды ремонтов: текущий, средний и капитальный. При текущем ремонте асфальтобетонных покрытий устраняют отдельные повреждения: трещины, выбоины, просадки, волны и наплывы на покрытии, восстанавливают шероховатость поверхности на небольших участках покрытия, а также устраняют отдельные повреждения бордюрного камня. После текущего ремонта асфальтобетонное покрытие должно быть ровным и шероховатым, иметь правильный поперечный и продольный профили и не вызывать вибраций и колебаний автомобилей при движении по нему.

Средний ремонт дорожных покрытий выполняют с целью восстановления его прочностных свойств путем усиления покрытия слоем износа.

Работы по среднему ремонту проводят в соответствии с установленным межремонтным сроком один раз в несколько лет. По сравнению с текущим ремонтом работы по среднему ремонту имеют значительные объемы и могут охватывать участки до 40 % общей площади улицы или дороги. В состав работ среднего ремонта входят: устранение трещин, просадок и других повреждений дорожных одежд с исправлением оснований на сравнительно больших участках, устройство слоя износа методом наращивания покрытия тонким слоем асфальтобетона или поверхностной обработки (с приданием поверхности шероховатости).

Но и идеально гладкое покрытие дороги является также серьезным недостатком, так как при этом резко снизился бы коэффициент сцепления колес с дорогой. Поэтому покрытие автомобильных дорог должно иметь шероховатость с выступами и углублениями в пределах 3-5 миллиметров. С такой шероховатостью покрытия дорога зрительно воспринимается как совершенно ровная, и ее можно считать в наибольшей степени отвечающей требованиям безопасности и достаточно высокой комфортабельности движения. Контроль ровности дороги осуществляется передвижной многоопорной рейкой и специальным прибором -- преобразователем дорожного профиля, оборудованным системой записи профиля дороги и микропрофиль. Для обеспечения безопасного движения транспорта важное значение имеет степень сцепления колеса автомобиля с покрытием. Этот показатель характеризуется коэффициентом сцепления.

Для определения коэффициента сцепления используют портативные приборы, а также передвижные установки. При отсутствии этих приборов коэффициент сцепления определяют по длине тормозного пути или замедлению (отрицательному ускорению) автомобиля.

Другая цель – уменьшение износа транспортного средства и повышение комфортабельности поездки. Наличие колеи, выбоин, ямок и других неровностей на дорожном покрытии может привести к потере водителем контроля над траекторией движения и управляемостью автомобиля. Большие выбоины на дорожном покрытии увеличивают износ транспортных средств и могут вызвать их поломку. Для предотвращения всех этих неприятностей производится ремонт дорожного полотна.

Своевременный ремонт нужен прежде всего для обеспечения безопасного и круглогодичного движения автомобилей с нормативными скоростями и нагрузками.

Если не сделать своевременный ремонт слоя износа дорожного покрытия, то в место необходимого обновления слой износа поверхностной обработкой, нужно будет назначать ремонт по усилению или перестройке старой дорожной одежды.

Гарантией качественно выполненного дорожного ремонта является правильная оценка подлежащего ремонту участка и выбор технологии, которую следует применить. При этом даже при оптимальном выборе метода недооценка погодных условий способна существенно ухудшить результат работы. Дождь, снег, сильный ветер, несущий в подготовленную выбоину мусор и пыль, могут сократить срок службы отремонтированного участка дороги — вместо трех-четырёх лет он прослужит всего пару-тройку месяцев. Кроме того, дорожный ремонт, выполненный с помощью имевшегося под рукой случайного набора техники и инструментов вместо специализированных машин и оборудования ручного класса может обесценить усилия даже профессионалов-дорожников, посвятивших своему делу долгие годы. Современные технологии дорожного ремонта созданы с учетом современного парка техники и часто не срабатывают в случаях доставки асфальтобетонной смеси самосвалом, а также ее укладки и уплотнения подручными средствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров, А. В. Современные технологии устройства слоев износа и поверхностных обработок на дорожных асфальтобетонных покрытиях / А. В. Гончаров. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 11 (115). — С. 313-317. — URL: <https://moluch.ru/archive/115/31195/> (дата обращения: 26.11.2020).
2. Александрова Н. П., Александров А. С., Чусов В. В. Модификация критериев прочности и условий пластичности при расчетах дорожных одежд // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. № 1 (41). — С. 47–54.
3. Чусов В. В. Применение теории накопления повреждений в условиях пластичности асфальтобетона для расчета дорожных покрытий по сопротивлению сдвигу // Молодой ученый. — 2016. — № 6 (110). — С. 221–227.
4. Содержание и ремонт автомобильных дорог: моногр. / С.И. Булдаков, Ю.Д. Силуков, М.Д. Малиновских. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. — 200 с.
5. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника/ Васильев А.П., Боловнев В.И., Корсунский М.Б. и др. Под ред. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1989. - 287 с.
6. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. I, II. - М.: Транспорт, 1987. — 368 с. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://books.totalarch.com/n/0384>.
7. Кравченко С.Е., Содержание и ремонт автомобильных дорог: пособие мастеру по ремонту и содержанию автомобильных дорог / С.Е. Кравченко, Ж.В. Реут, С.Н. Соболевская. — Минск : БНТУ , 2015. — 402 с. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://books.totalarch.com/n/4685>.

УДК 628.987

## ДИЗАЙНЕРСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ НЕДОСТАТКА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ КВАРТИРЫ

Д.Д. Жуков, Д.П. Змитрович

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: [d.zhukau@psu.by](mailto:d.zhukau@psu.by), [18diz.begunova.d@pdu.by](mailto:18diz.begunova.d@pdu.by)

*В статье рассматривается теоретическая подоплека предпроектной дизайнерской идеи и особенности ее формирования дизайнером интерьеров. При этом положения теории дизайна и их использование в практике дизайн-проектирования увязываются между собой. В качестве исходных объектов исследования взяты квартиры 12-этажного крупнопанельного жилого здания популярной серии М111-90 широтной ориентации, построенного в г. Минске в 1987 г., и само это здание.*

**Ключевые слова:** теория дизайна, дизайнерская идея, средовой объект, интерьер, крупнопанельное жилое здание, проектный образ, световод, приставная лоджия.

## DESIGNER APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM OF A DEARTH OF DAYLIGHT IN AN APARTMENT

D. Zhukau, D. Zmitrovich

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: [d.zhukau@psu.by](mailto:d.zhukau@psu.by), [18diz.begunova.d@pdu.by](mailto:18diz.begunova.d@pdu.by)

*The article discusses the theoretical background of the pre-project design idea and the peculiarities of its formation by an interior designer. At the same time, the provisions of design theory and its use in the practice of design are linked. The initial objects of the study are the apartments of a 12-storey large-panel residential building of the popular M111-90 series of latitudinal orientation, built in Minsk in 1987, and this building itself.*

**Keywords:** design theory, design idea, environmental object, interior, large-panel residential building, project image, light guide, attached loggia.

**Введение.** Дизайнерский подход к поиску выхода из проблемной ситуации, когда она относится к предметно-пространственной среде здания, характерен спецификой отправного пункта в размышлениях дизайнера, в настоящей статье – дизайнера интерьеров. Данный пункт – проектный образ внутреннего архитектурного пространства вместе с тем, что в нем находится: мебелью, оборудованием и другими элементами предметного комплекса. Иными словами, речь идет об образе внутренней предметно-пространственной среды, или интерьера.

Основная часть. Проектный образ отличается от художественного [1, с. 110]. Посредством второго в произведении искусства, например живописи, передаются художественно освоенные смыслы и ценности. Художественный образ представляет собой как бы квант духовной культуры. Что касается проектного образа, его включает в себя, как правило, потребительская культура.

Проектный образ – это созданный воображением дизайнера идеальный объект. С художественной точки зрения он не может не уступать идеальному произведению искусства, поскольку имеет чисто утилитарную, функциональную сторону, ограничивающую художественную

сторону. Впрочем, настоящий дизайнер всегда стремится, проявляя себя одновременно как художник и представитель нехудожественных профессий, все-таки создать произведение искусства, искусства специфического – бифункционального, которым является дизайн. Значит, мы вправе уточнить: в дизайне может иметь и при должном старании дизайнера имеет место художественно-проектный или по меньшей мере проектно-художественный образ (порядок слов в этом случае свидетельствует об ориентировочном соотношении художественного и проектного, утилитарного).

Что касается термина «предметно-пространственная среда», под ним в дизайне понимается та часть человеческого окружения, которая состоит из архитектурного (архитектурное пространство) и дизайнерского (предметное наполнение) компонентов, объединенных в целостность согласно законам художественного творчества. Иными словами, в художественную или – это будет точнее с позиции теории дизайна – в художественно-проектную либо проектно-художественную целостность. Заметим, что проектность здесь, помимо прочего, отражает обязанность современного дизайнера интерьеров обеспечивать их пользователям не только эстетический, визуальный комфорт, но и все остальные виды комфорта.

Эстетический комфорт, ощущаемый пользователями интерьеров, обуславливается состоянием эмоционально-эстетической атмосферы среды, предугадываемой и задаваемой дизайнером. Такую атмосферу или, позволительно сказать, ауру в теории дизайна принято считать основой среды [2, с. 29, 41]. Именно она и является образом средового объекта, объединяя эмоциональное содержание функции среды, ее архитектурный образ и дизайнерское видение (рисунок 1).



Рисунок 1. – Блок-схема глубинной сущности средового объекта

Таким образом, в процессе своих творческих действий дизайнер интерьеров, наделяя архитектурное пространство средовым художественно-функциональным смыслом, должен приводить к единому проектному знаменателю иррациональное (интуитивное, образное, художественное) и рациональное (осмысленное, разумное, абстрактно-логическое). В этом заключается ключевая особенность дизайнерского подхода к объекту проектирования, отличная от намного более рационального инженерного подхода.

Учтем также следующее обстоятельство: именно по работе дизайнера интерьеров пользователи, жильцы например, в первую очередь судят об уровне качества здания вообще, если, конечно, подразумевается ситуация, когда над строительным объектом одновременно трудятся представители архитектурной, строительной и дизайнерской профессий. Отсюда отчасти вытекает и вывод о том, что именно дизайнеры интерьеров играют ведущую роль в создании средовых объектов, когда проектирование идет «от интерьеров», и предоставляют архитекторам и инженерам для обсуждения дизайнерскую идею средового решения.

Обрисованное взаимодействие возможно, если дизайнер интерьеров достаточно хорошо ориентируется в самых разных, в том числе перспективных, архитектурных и инженерных вопросах, связанных с предметно-пространственной средой. При этом дизайнеру даже вредно без нужды вникать в детали смежных дисциплин, чтобы не подпасть под искушение ограничивать свой творческий поиск «объективными» архитектурными и инженерными факторами, перестав быть дизайнером – фантазером в хорошем смысле слова.

Зная теоретический аспект дизайнерского подхода к разрешению исходной проблемной ситуации в случае предметно-пространственной среды и специфику творческой деятельности профильных дизайнеров, можно перейти к рассмотрению его практического аспекта. Между прочим, до сих пор теория дизайнера не способна более или менее однозначно ответить на многие вопросы тех, кто имеет дело с проектированием интерьеров, а также других средовых объектов. Авторы настоящей статьи решили внести свой скромный вклад в улучшение теории, увязав ее с практикой: первый – как руководитель студенческого научного исследования, второй – как ее исполнитель.

В исследовании рассматривается технология разработки принципиальных решений исправления проблемной ситуации, как их видит дизайнер. Этот этап не должен, как правило, предусматривать его консультаций с архитекторами и инженерами-строителями, поскольку его цель – сформировать предпроектную дизайнерскую идею, которая может быть положена как раз в основу дальнейшего взаимодействия с указанными специалистами [2, с. 26]. Без такой идеи, называемой также концепцией, канвой, рамочными условиями возможного будущего проекта, дизайнер не станет его инициатором. А таковым он просто обязан быть, если зарождение проекта идет «от интерьеров».

Исходные объекты исследования – квартиры 12-этажного крупнопанельного жилого здания популярной серии М111-90 широтной ориентации, построенного в г. Минске в 1987 г., и само это здание. В качестве базовой квартиры для дизайнерского исследования взята 3-комнатная квартира, расположенная на 9-м этаже у торца здания. На рисунке 2 показан фрагмент его фасада, обращенного в сторону севера с небольшим отклонением к западу (большая фотография), и ориентированный в сторону юга с небольшим отклонением к востоку фасад подобного здания, расположенного напротив первого.

Как проблемная рассматривается ситуация недостатка естественной освещенности дневным светом (именно о таком свете идет речь в настоящей статье), во-первых, базовой квартиры и, во-вторых, других квартир дома. Первоначально интерес к теме возник применительно к базовой квартире. Но в процессе поиска дизайнерской идеи выхода из проблемной ситуации выяснилось, что рассматривать следует все здание. А так как таких зданий в Беларуси построено много и уже пора задумываться об их серьезном обновлении, в том числе светотехнической модернизации, рассматриваемая проблема носит типичный характер применительно ко всем

квартирам в старых зданиях серии М111-90. (Скорее всего, эта проблема и способы ее разрешения имеют универсальный характер, так как относятся к большинству всех белорусских многоэтажных жилых зданий старых типовых серий.) Стоит сказать, эта типичность, с учетом движения дизайнерской мысли «от квартиры», нашла свое отражение в использовании единственного числа слова «квартира» в названии настоящей статьи.



Рисунок 2. – Фасады северной (слева внизу) и южной ориентации двух расположенных друг напротив друга 12-этажных жилых зданий серии М111-90

Психологическим толчком к разработке темы явились наблюдения за тем, как меняется в лучшую сторону эмоционально-эстетическая атмосфера квартирной среды, когда отраженный от стеклянной крыши невысокой пристройки к соседнему зданию яркий солнечный свет падает на потолки и освещает дотоле лишённые такого света зоны комнат базовой квартиры. Вот и придумалось нечто вроде квартиры солнечного света природно-санаторного типа под простым рабочим названием «Дом Солнца» или дом Солнца. В итоге же появилось предложение по одноименному зданию в целом. Подчеркнем: в приведенной выше краткой характеристике объектов и их названии вербально выражена квинтэссенция их в данном случае проектно-художественного образа.

Дневной свет, как известно, заметно влияет на психоэмоциональное, в том числе эмоционально-эстетическое, и физическое состояние человека. Причем на него негативно воздействует как недостаток, так и переизбыток прямого и диффузного дневного света. (С переизбытком, отметим, «бороться» легче, чем с недостатком.) Очевидно, для обеспечения по-настоящему комфортной и здоровой жизнедеятельности людей в помещениях требуется, чтобы интенсивность и равномерность естественного освещения последних были оптимальными – сверхнормативными.

Что касается явно недостаточной освещенности помещений базовой квартиры дневным светом, она была подтверждена в результате неоднократных релевантных измерений в разное время разных суток с помощью приложения Smart Luxmeter ver. 1.0.0, установленного из приложения Google Play Market на смартфон Xiaomi Redmi 4X. Кстати, дизайнеру интерьеров достаточно пользоваться главным образом именно таким универсальным средством измерения

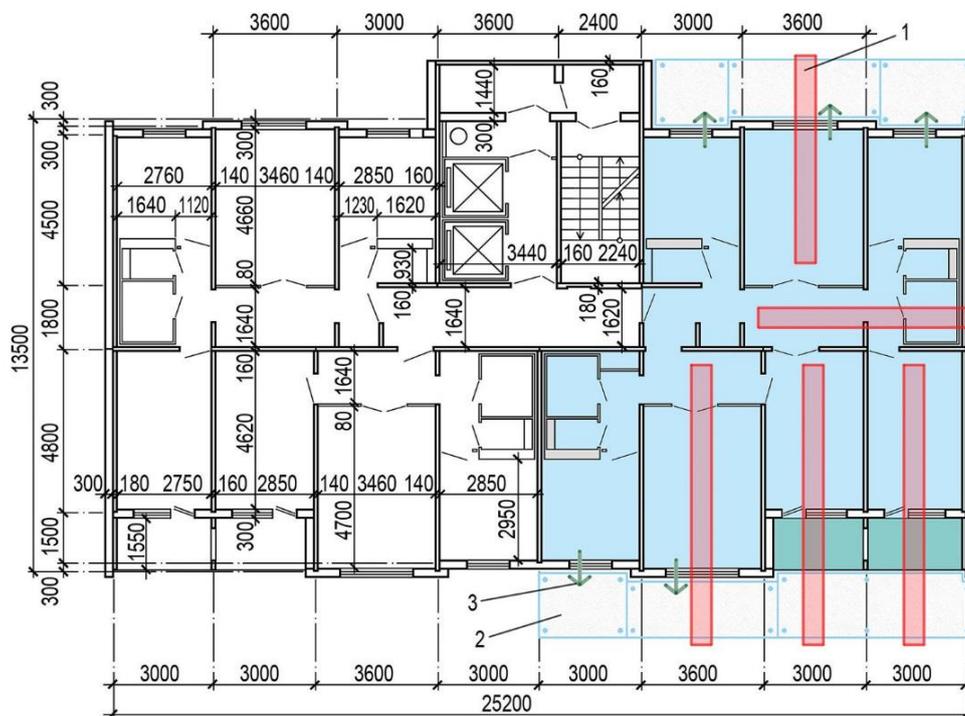
«всего и вся» – смартфоном, который всегда под рукой. Ведь для такого специалиста важнее всего ощущения, ассоциации, сравнения и т. п. А получение точных чисел – прерогатива инженеров и, в определенной мере, архитекторов.

Эффективным средством подачи дневного света в помещения являются полые световоды. Естественный свет, который поступает в их приемные оптические устройства, расположенные на кровле и (или) на фасаде, без заметных потерь транспортируется по трубам, внутри зеркальным, на десятки метров как по вертикали, так и по горизонтали [3]. Внутри световодной системы свет может, в частности, концентрироваться, рассеиваться, менять направление и спектр за счет специальных технических устройств. Примечательно, что по спектральному составу свет на выходе из качественной световодной системы в видимом диапазоне длин волн едва ли не полностью такой же, как свет на входе в систему [4].

Выходящий из световодов дневной свет мы вправе называть живым, ведь он транслирует в помещения то, что происходит со светом вне здания. Это обстоятельство особенно важно для создания санаторно-природной атмосферы среды дома Солнца.

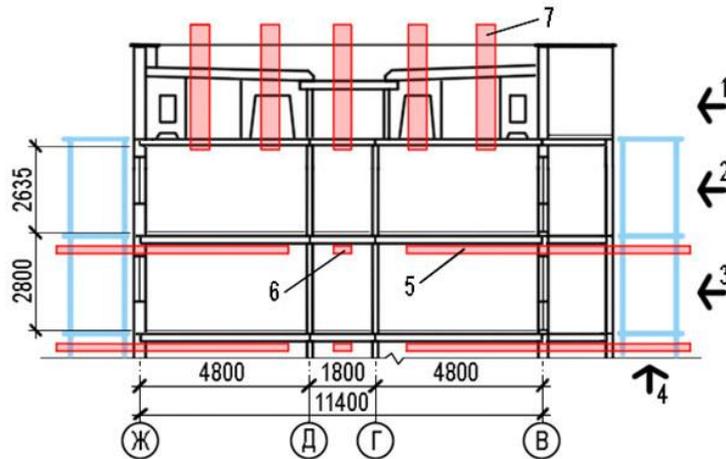
Для существующих многоэтажных зданий, требующих светотехнической модернизации, весьма актуальны передающие дневной свет по горизонтали плоские клиновидные световоды с прямоугольным поперечным сечением, длина которых может превышать 5 м [5].

Примерное расположение вертикальных и горизонтальных световодов с учетом обхода ими строительных конструкций и устройства не снижающих надежность несущего остова здания отверстий под них показано на рисунках 3–5. Кроме того, на рисунке 3 можно увидеть объединение двух соседних квартир в одну, без чего серьезное техническое обновление здания не имеет особого смысла. (Для простоты графических построений и большей наглядности на данном этапе рассматривается односекционное здание.)



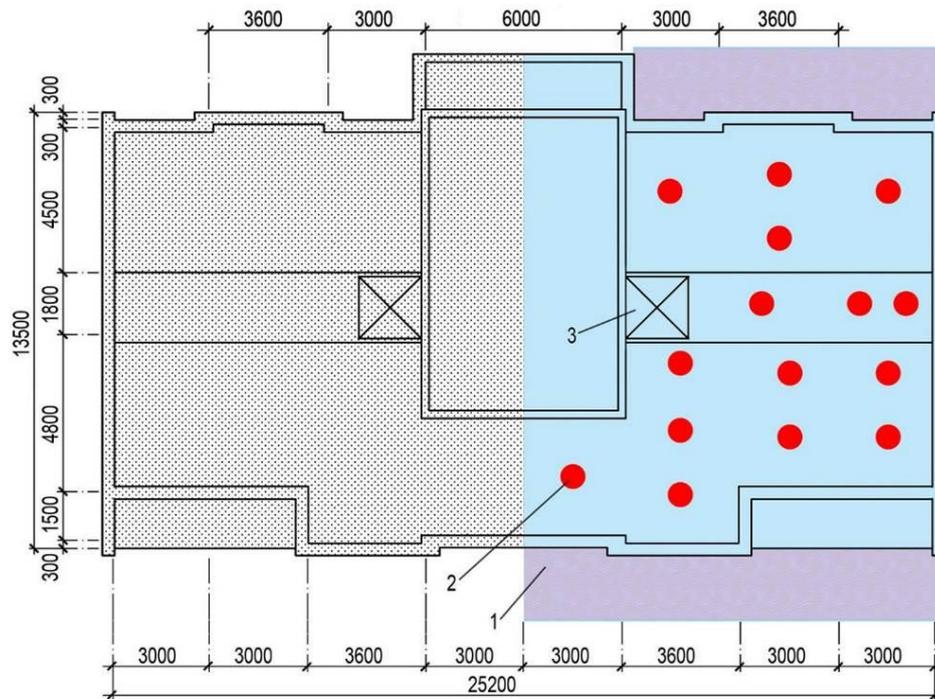
1 – плоский клиновидный световод; 2 – приставная лоджия; 3 – новый выход на лоджию

Рисунок 3. – Схема плана 2–12 этажей исходного здания (слева) и измененного исходного здания (справа) с 5-комнатной квартирой, полученной в результате объединения двух исходных квартир (3- и 2-комнатной); плоских клиновидных световодов на 12-м этаже нет



1 – теплый чердак; 2 – 12-й этаж; 3 – 11-й этаж; 4 – приставные лоджии; 5 – плоский клиновидный световод, расположенный поперек здания; 6 – плоский клиновидный световод, расположенный вдоль здания; 7 – вертикальный световод

Рисунок 4. – Верхняя часть схемы поперечного разреза измененного исходного здания



1 – кровля над приставными лоджиями; 2 – вертикальный световод;  
3 – вентиляционная шахта (труба)

Рисунок 5. – Схема плана кровли исходного здания (слева) и измененного исходного здания (справа)

На указанных рисунках есть и такие еще неупомянутые новые элементы, как приставные лоджии в виде многоэтажных этажерок. Они могут иметь стальной каркас из стальных труб квадратного поперечного сечения и перекрытия из сборных железобетонных плит толщиной 100 мм. Такое решение взято из строительной практики Германии, где, например, в восточной части г. Берлина большое количество многоэтажных крупнопанельных зданий, построенных до объединения страны, были в результате реконструкции доведены до западноберлинского уровня комфорта и строительного качества (рисунок 6).



Рисунок 6. – Приставные лоджии реконструированного жилого крупнопанельного жилого здания в восточной части г. Берлина, Германия, 1998 г.

Предложенные приставные лоджии дают квартирам действительно открытые помещения, значение которых часто недооценивается. Это видно на примере остекления лоджий почти всех белорусских многоэтажных домов. Имеется в виду как остекление изначально не остекленных лоджий, так и заложенное в проекты. Его плюсы заключаются в защите помещений от шума, пыли, выделяемых автомобилями газов, зимних холодных ветров. Однако их перевешивают минусы. Это ухудшение естественного воздухообмена в квартирах, который периодически бывает нужен даже в случае механической приточно-вытяжной вентиляции, снижение инсоляции и естественной освещенности комнат, недополучение жилищем важных для человеческого организма отрицательных ионов, фактическое лишение жильцов квартир быстрого выхода на свежий воздух. Значит, дополнение дома Солнца приставными лоджиями позволит ему еще больше претендовать на приобретение в глазах наблюдателей неофициального статуса объекта природно-санаторного типа.

В общих чертах продуманы также, помимо прочих, и такие вопросы, как дополнительное утепление здания, оснащение его гелиосистемами и системой механической приточно-вытяжной вентиляцией с рекуперацией теплоты вытяжного воздуха, солнцезащита, автоматическое и ручное управление естественным и искусственным светом, компенсация снижения высоты помещений из-за наличия световодов и увеличения толщины полов.

Заключение. Представленная в настоящей статье информация о теоретической подоплеке предпроектной дизайнерской идеи и особенностях ее формирования дизайнером интерьеров увязывает между собой положения теории дизайна и ее использование в практике дизайн-проектирования. Дальнейшие теоретико-практические построения планируется посвятить детализации идеи в объемно-планировочном, конструктивном и техническом отношении, рассмотрению сценариев освещения дома Солнца и разработке соответствующих характерных визуализаций его интерьеров и экстерьера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов, И. М. Теоретические основы дизайна : учеб. пособие для студентов специальности 1-19 01 01 «Дизайн (по направлениям)» / И. М. Коновалов. – Минск: Современные знания, 2010. – 256 с.
2. Шимко, В. Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории (средовой подход) : учебник / В. Т. Шимко. – 2-е изд., доп. и исправл. – М. : Архитектура-С, 2009. – 408 с.
3. Щепетков, Н. И. Энергоэффективный подход к освещению помещений и городской среды / Н. И. Щепетков // Энергосбережение. – 2016. – № 3. – С. 20–24.
4. Стерхов, А. И. Исследование систем освещения с полыми протяженными световодами / А. И. Стерхов, А. В. Палагин, И. Ю. Лошкарев // Светотехника. – 2019. – № 6. – С. 31–36.
5. Полые протяженные световоды на современном этапе / Ю. Б. Айзенберг [и др.] // Светотехника. – 2003. – № 3. – С. 14–23.

УДК 659

## ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НАВИГАЦИИ ТОРГОВОГО ЗАЛА СЕТИ МАГАЗИНОВ «НИКА»

*И.Л. Кириллова, А.Д. Барановская*

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

e-mail: [kirilova.i.l@yandex.by](mailto:kirilova.i.l@yandex.by)

*В статье рассмотрен процесс проектирования элементов навигации торгового зала сети магазинов «Ника». Определены цели и решены задачи проекта. Представлены практические разработки дизайна навигации. Выделены основные принципы проекта: привлечение внимания, запоминаемость, современный стиль, лаконичные цвета. Установлено, что представленный проект, будучи реализованным, несомненно, вызовет интерес у покупателей, новая система навигации и рекламно-информационная поддержка поможет покупателям максимально ускорить процесс поиска товаров и выгодно выделит сеть магазинов «Ника» среди конкурентов, а дизайн торговых залов выглядит современным и привлекательным для покупателей.*

**Ключевые слова:** дизайн, навигация, проектирование, предприятие, пиктограммы, инфографика, цвет, шрифт.

## THE PROCESS OF DESIGNING THE NAVIGATION ELEMENTS OF THE TRADING FLOOR OF THE «NIKA» STORE CHAIN

*I. Kirillova, A. Baranovskaya*

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

e-mail: [kirilova.i.l@yandex.by](mailto:kirilova.i.l@yandex.by)

*The article describes the process of designing the navigation elements of the trading floor of the «Nika» chain of stores. The goals and objectives of the project are defined and solved. Practical developments of navigation design are presented. The main principles of the project are highlighted: attracting attention, memorability, modern style, concise colors. It is established that the presented project, being implemented, will undoubtedly arouse the interest of buyers, the new navigation system and advertising and information support will help buyers to speed up the process of searching for goods as much as possible and will favorably distinguish the «Nika» store chain among competitors, and the design of the sales halls looks modern and attractive to buyers.*

**Keywords:** design, navigation, design, enterprise, pictograms, infography, color, font.

Создание новой системы навигации и рекламно-информационной поддержки сети магазинов «Ника», которая будет отражать деятельность предприятия для продвижения на рынке, среди продвинутых современных сетей магазинов, и повышения имиджа среди потенциальных клиентов, в настоящее время является очень актуальной проблемой.

Главной проблемой навигационных систем является невозможность определения местоположения в тех условиях, в которых она расположена.

Именно качественная разработка навигации, и грамотная рекламная политика по ее продвижению позволяет донести покупателю мнение о необходимости покупки товаров именно в данной сети магазинов. Использование современных графических тенденций в дизайне новой навигации, поможет именно эту сеть магазинов выгодно выделить и подчеркнуть на фоне всех остальных.

Проект значим с социальной точки зрения, так как дизайн навигации оказывает эмоциональное и психологическое влияние на покупателей при движении по торговому залу, а значит, новый дизайн может помочь расширить целевую аудиторию и повысить статус предприятия в понимании общества.

Задачей проекта заключается в том, чтобы с помощью новой оригинальной навигации привлечь как можно больше внимания потребителей к магазину и увеличить число продаж. С точки зрения маркетинга новый стиль должен способствовать узнаванию и продвижению сети магазинов, качественный образ и креативный образ будут отличной рекламой.

Научная новизна статьи заключается в авторской разработке элементов навигации торгового зала сети магазинов «Ника».

Согласно методу эмпирического уровня в данном проекте используется наблюдение. Метод экспериментально-теоретического уровня в проекте используется как анализ и моделирование. Метод теоретического уровня в проекте указывает на изучение и обобщение материала.

Использование компьютерной графики в данном проекте позволяет лучше усвоить содержание системы навигации и рекламно-информационной поддержки на основе распространенного на сегодняшний день способа подачи информации. С помощью графических редакторов в данном проекте визуализированы выразительные, оригинальные константы.

Основными препятствиями при создании дизайна общественного пространства торгового зала сети магазинов «Ника» является необходимость продемонстрировать потенциальному потребителю специфику передвижения и помочь посетителю быстро понять логику данного места и начать в нем ориентироваться.

Использование проекта планируется в течение длительного времени, навигация торгового зала в сети магазинов «Ника» меняется не так часто, одна и та же навигация не требует изменений и смены в течение нескольких лет.

Поскольку сеть магазинов «Ника» работает только по Витебской области, соответственно, территориальные рамки проекта определяются данной областью.

В процессе создания навигации сегодня анализируются основные потребности пользователей и различные способы использования конкретного пространства, из которых в итоге проектируется основная концепция данного места. Торговые залы – крайне сложные в навигационном плане пространства. Чем масштабнее строение, тем сложнее создать подходящую под него систему навигации.

Навигация – это наука на стыке информационного дизайна, типографики, инфографики, графического дизайна и проектирования пользовательского интерфейса [2].

При разработке вариантов дизайна навигации для сети магазинов «Ника» изучен уже имеющийся дизайн магазина, логотип и составляющие фирменного стиля (рисунок 1).



Рисунок 1. – Логотип магазина «Ника», фирменные цвета, шрифт

Существующий стиль, фирменный шрифт и фирменный цвет используются в новом дизайне визуальной навигации магазина «Ника». Во время работы над проектом представлено несколько концепций стилистики дизайна навигации.

Первая концепция заключается в использовании тонких, легких линий – графической техники, с минимальным использованием цветов. На основе первой концепции дизайна визуальной навигации магазина «Ника» создан паттерн на основе графических элементов, который далее может быть использован в различных элементах рекламно-информационной поддержки – дизайн интерьера торгового зала, листовка сети магазинов, флаер или как-либо другой рекламный продукт (рисунок 2).

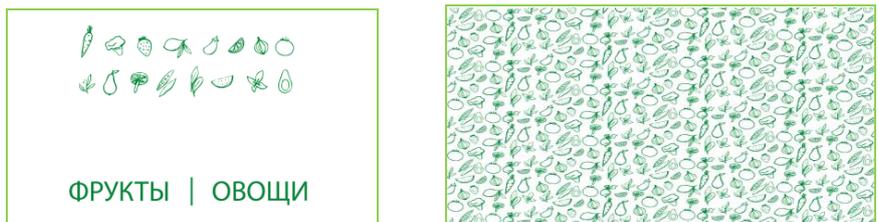


Рисунок 2. – Первая концепция дизайна визуальной навигации магазина «Ника». Вариант изобразительного элемента и начертания шрифта для отдела «фрукты и овощи» и разработанный паттерн

Вторая концепция дизайна визуальной навигации включает в себя доминирующий фирменный цвет сети магазинов «Ника». Предложены различные варианты пиктограмм для навигации (рисунок 3).

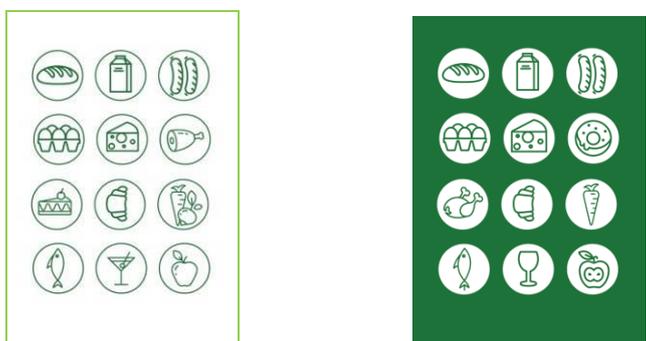


Рисунок 3. – Вторая концепция дизайна визуальной навигации. Варианты пиктограмм для навигации

В основе концепции использован очень популярный сегодня стиль минимализм. Минимализм – хороший инструмент для дифференциации большой серии элементов навигации. Умение в навигации выразить индивидуальность сети магазинов, сообщить все необходимые сведения и не забыть про идентичность бренда – очень важно. Такой дизайн избавляется от всего лишнего, от избыточной перегруженности графикой и цветами. Он позволяет выделить главное, что хотел донести производитель до покупателя [5].

Третья концепция заключается в использовании линейной стилистики и контура объектов, ярких и сочных цветов (рисунок 4). Стилистика данных элементов навигации противоречит существующему фирменному стилю сети магазинов «Ника», он представлен автором проекта для придания новизны и яркости облику магазина, что позволит сформировать новое представление о колористике предполагаемого нового фирменного стиля сети магазинов, и поможет привлечь новую целевую аудиторию и позволит расширить горизонты.



Рисунок 4. – Третья концепция дизайна визуальной навигации. Вариант пиктограмм для навигации

Четвертая концепция совмещает в себе минимализм и лаконичность первой концепции, и яркость пиктограмм третьей концепции для повышения современности навигации в соответствии с графическими тенденциями в дизайне (рисунок 5).



Рисунок 5. – Четвертая концепция дизайна визуальной навигации.  
Вариант пиктограмм для навигации

Каждая из представленных концепций имеет место быть, однако, заказчиком выбрана третья концепция, так как принято решение не выходить за рамки уже существующего фирменного стиля и, соответственно, придерживаться фирменных цветов (рисунок 6).



Рисунок 6. – Таблички навигации с наименованиями отделов магазина «Ника»

Большое пространство магазина занимает территория с продукцией собственного производства преимущественно хлебобулочных изделий и существует необходимость с помощью элементов дизайна выделить эту территорию магазина для привлечения покупателей, на этом сделан акцент и для этой большой зоны разработаны пиктограммы в линейном стиле в фирменных цветах (рисунок 7).



Рисунок 7. – Пиктограммы для отдела продукции собственного приготовления

Разработан визуальный ряд, на котором отображены элементы системы навигации и их органичное расположение (рисунок 8).

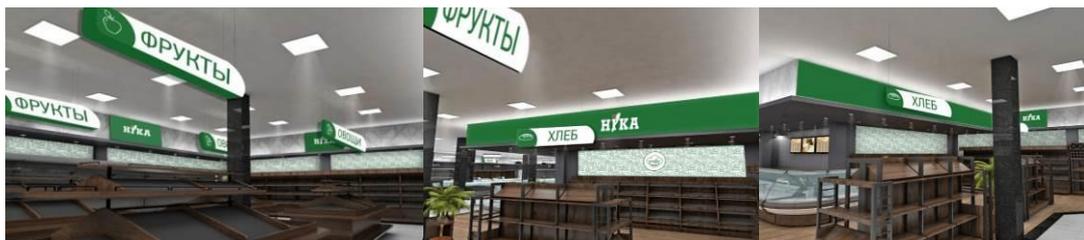


Рисунок 8. – Расположение элементов навигации в торговом зале

Результатом исследования является процесс проектирования элементов навигации торгового зала сети магазинов «Ника». Установлено, что, будучи реализованным, представленный проект вызовет интерес у потребителей. Новая система навигации и рекламно-информационной поддержка поможет покупателям максимально ускорить процесс поиска товаров, а дизайн новой навигации торговых залов, разработанный с использованием современных графических тенденций в дизайне, поможет именно эту сеть магазинов выгодно выделить среди конкурентов и подчеркнуть на фоне всех остальных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллова, И. Л., Коммуникативный дизайн как дизайн информации / И. Л. Кириллова, Е. А. Иванова; И. Л. Кириллова, Е. А. Иванова // Материалы докладов 51-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 2018 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2018. – С. 51-53. – Библиогр.: с. 137 (3 назв.).
2. Песоцкий, Е. Современная теория и практика рекламы / Е. Песоцкий. – Ростов н/Д: Феникс, 2001. – 320 с.
3. Концепции календаря для Березинского биосферного заповедника / И. Л. Кириллова, О. М. Шкетик // Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь : материалы докладов Международного научно-практического симпозиума, Витебск, 3 ноября 2020 г. / УО "ВГТУ". - Витебск, 2020. - С. 209-211.
4. Рекламно-информационная поддержка для Витебской областной организации общественного объединения «Белорусский союз художников», г. Витебск / А. В. Попова, И. Л. Кириллова, Н. М. Кириллова; А. В. Попова, И. Л. Кириллова, Н. М. Кириллова // Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь : материалы докладов Международного научно-практического симпозиума, Витебск, 3 ноября 2020 г. / УО «ВГТУ». - Витебск, 2020. - С. 224-227. - Библиогр.: с. 227 (3 назв.).
5. Sokolbank [Электронный ресурс] / Печать продукции. – Витебск, 2020 – Режим доступа: <https://kursovaya.sokolbank.ru>. – Дата доступа: 22.05.2020 г.

УДК 691.3

## БЛАГОУСТРОЙСТВО ВНУТРЕННИХ ПРОЕЗДОВ, ТРОТУАРОВ И ВЕЛОДОРОЖЕК

**В.С. Михальков, С.В. Латышев**

Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь

e-mail: [mvs1949@mail.ru](mailto:mvs1949@mail.ru)

*Предложены варианты использования армированных железобетонных плит для устройства пешеходных и велосипедных дорожек. Конструктивное исполнение специальных замков по четырем сторонам плит разработано Латышевым Сергеем Викторовичем. Замки обеспечивают быструю сборку-разборку соседних плит и исключают сдвиговые перемещения. В плитах учтено их многофункциональное назначение. Выполнен расчет плит для дорожного покрытия внутридворовых проездов.*

**Ключевые слова:** многофункциональные плиты армированные из железобетона, замки для соединения плит, расчетная схема, результаты расчета.

## IMPROVEMENT OF INTERNAL DRIVEWAYS, SIDEWALKS AND BIKE PATHS

**V. Mikhalkov, S. Latyshev**

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

e-mail: [mvs1949@mail.ru](mailto:mvs1949@mail.ru)

*Versions of use of reinforced concrete slabs for arrangement of pedestrian and bicycle paths are proposed. The design of special locks on four sides of the plates was developed by Latvian Sergey Viktorovich. Locks provide quick assembly-disassembly of adjacent plates and eliminate shear movements. The boards take into account their multifunctional purpose. Calculation of slabs for road pavement of domestic passages was made.*

**Keywords:** multifunctional reinforced concrete slabs, slab connection locks, calculation scheme, calculation results.

**Ведение.** Для обустройства и оборудования городских либо загородных дворики, участков, площадок для детей, аллей и дорожек в парках, велодорожек широко применяют тротуарные бетонные плиты. Эти плиты должны иметь хорошие эксплуатационные качества, отличаться надежностью и долговечностью. Укрепленные (предварительно напряженные) железобетонные плиты применяются для городских внутренних проездов для автомобилей.

**Основная часть.** Конфигурация плит для внутридворовых территорий и велодорожек представлена на рисунке 1.

Толщина плит 140 мм, они могут быть с покрытием из резиноасфальта или без, с подогревом (60 Ватт·м<sup>2</sup>) от альтернативного источника электрической энергии или без. Плиты могут иметь специальные отверстия с возможностью установки столбов - преград, столбов освещения, урн, скамеек с навесами или без, ограждений и т. п.

Плиты в зависимости от требуемых размеров проездов и дорожек соединяются с соседними (в продольном и поперечном направлении) посредством сборно-разборных замков с точностью по вертикальной оси железобетонной плиты не более 0,1 мм. Количество замковых устройств зависит от размеров плиты (их как минимум два).

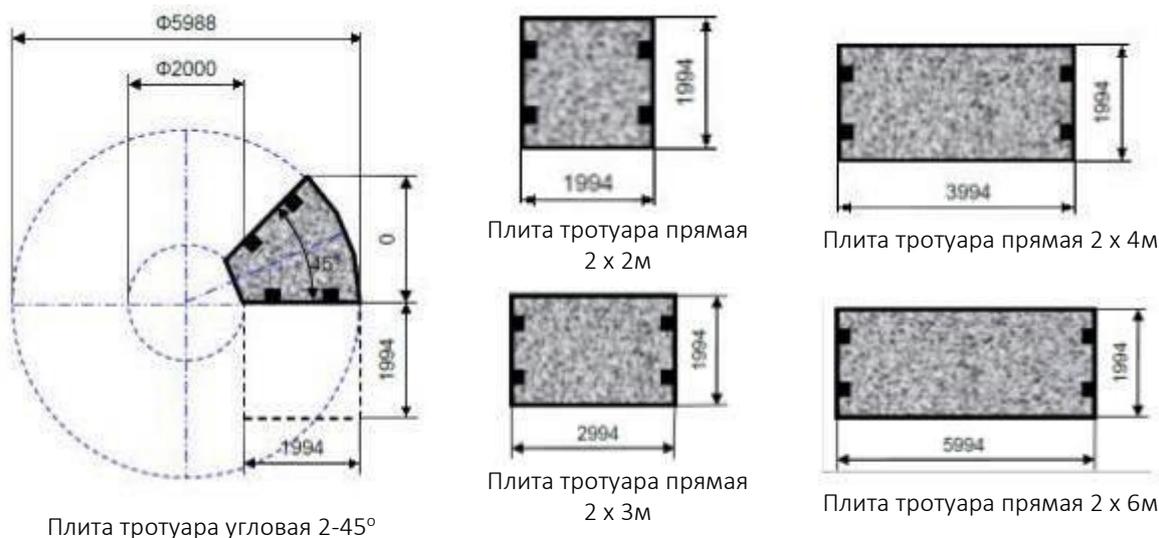


Рисунок 1. – Конфигурация плит для дворовых территорий

Плиты изготавливаются в заводских условиях, что позволяет контролировать качество изготовления и прочностные показатели.

Установка специальных сборно – разборных замков для соединения плит гарантирует отсутствие сдвиговых напряжений, существенно повышает долговечность покрытия.

На рисунке 2 показаны варианты исполнения пешеходной и велосипедной дорожек с устройством цветочного газона.

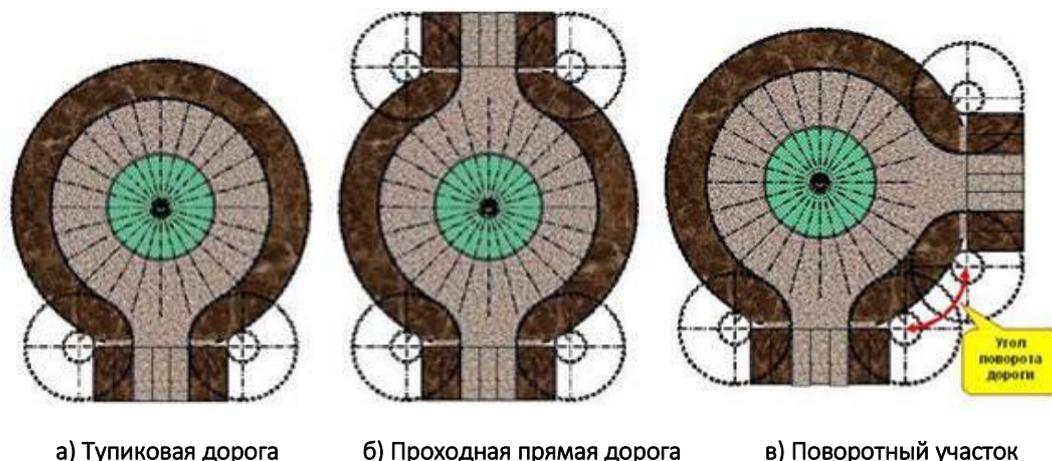


Рисунок 3. – Варианты исполнения пешеходной и велосипедной дорожек

На рисунке 3 приведен пример выполнения пешеходной дорожки из набора типовых тротуарных плит. Все размеры на эскизе выполнены по осям. Плиты соединяются замками с устройством термошва между плитами 6мм. В термошов вставляются специальные резиновые прокладки, а сам шов заливается герметиком.

Железобетонные плиты экологически безопасные: при повышении температуры воздуха не нагреваются, так как асфальт, и не служат источником выделения разнообразных опасных веществ.

Конфигурация плит позволяет выполнить поворот дороги практически под любым углом, а устройство замков, скрепляющих плиты, способствует смещению плит, появлению случайных сколов и выдерживать точный уровень поверхности дорожных плит. Материал плит устойчив к различным температурным перепадам, обладает высокой прочностью и, при необходимости,

благодаря специальным добавкам, бактерицидными свойствами, имеет большой срок службы. Установка и монтаж дороги (автомобильной, пешеходной, велосипедной, пешеходно-велосипедной) из железобетонных плит не занимает много времени. Конструкция простая в сборке, экономически выгодная. На рисунке 4 приведен пример выполнения пешеходной дорожки из набора типовых тротуарных плит.

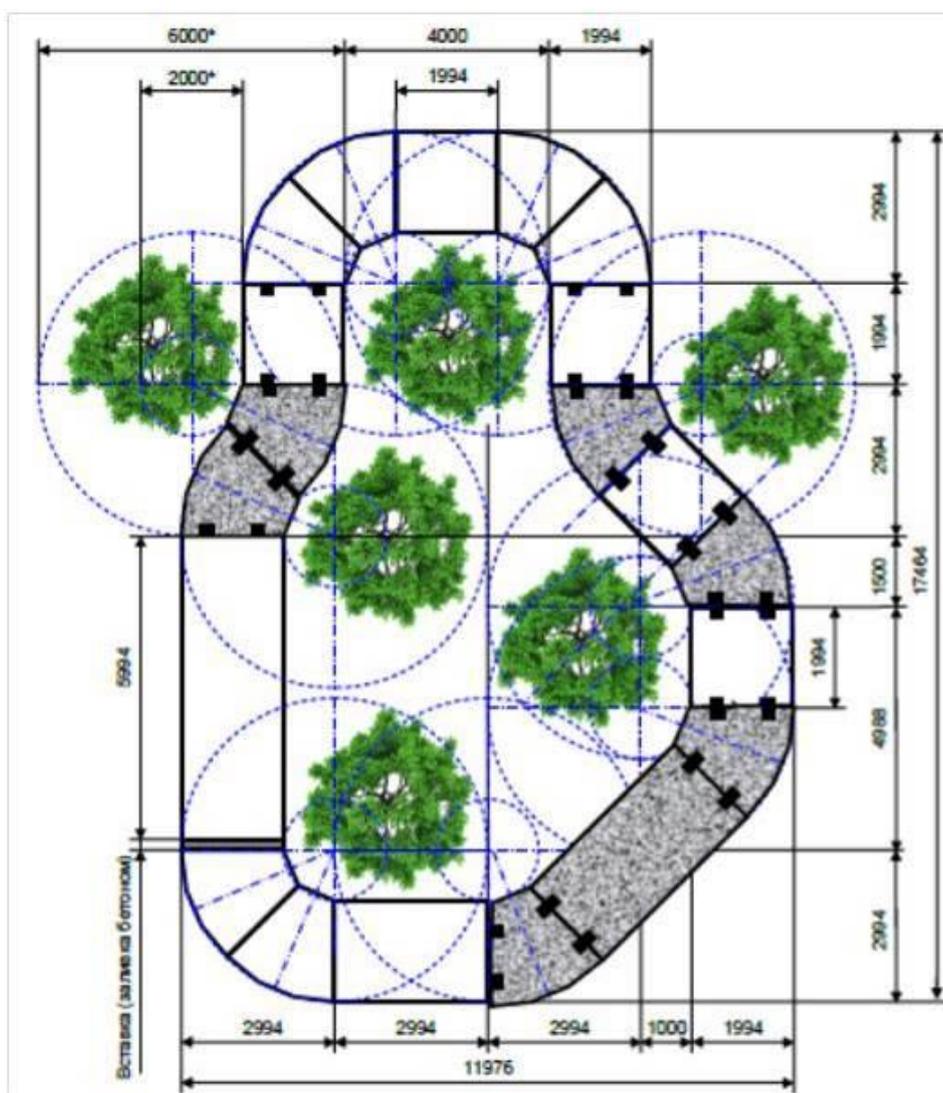


Рисунок 4. – Пример выполнения дорожки из набора типовых тротуарных плит

Предлагаемые варианты исполнения авторских железобетонных армированных плит, соединяемых между собой замковыми устройствами, позволят улучшить благоустройство внутридворовых территорий, не боясь внеплановых ремонтных работ на коммуникациях.

При использовании плит для покрытия автомобильных дорог внутридворовых проездов ширина дороги составляет 6 м (три плиты по ширине дороги). Плиты, соединенные замковыми устройствами, образуют единое полотно. Проверим несущую способность дорожного полотна.

Подобная задача решена в работе [1] При этом авторы отмечают, что контактная задача для шарнирно соединенных прямоугольных плит на упругом основании в полной мере и универсальной постановке не решена до настоящего времени. Они предложили для расчета шарнирно соединенных жестких прямоугольных плит на упругом основании применять смешанный метод строительной механики и способ Жемочкина, который численно реализовали на семи шарнирно соединенных прямоугольных жестких плитах на основаниях Винклера.

Рассмотрим систему семи шарнирно соединенных в двух точках жестких прямоугольных плит на упругом основании под действием внешней нагрузки (рисунок 5).

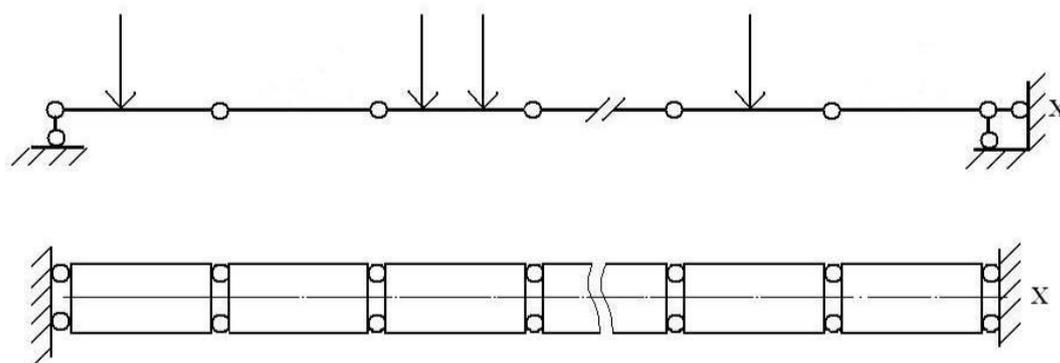


Рисунок 5. – Принятая система шарнирно соединенных прямоугольных плит на упругом основании под действием внешней нагрузки

Размеры плит: 5994x1994 мм. Прикладываемая нагрузка 600 кН. Вес каждой плиты 1670 кг. Толщина плит 140 мм.

Крайние плиты будем считать шарнирно опертыми с одной стороны на неподвижное основание. В данной статически неопределимой системе считаем неизвестными усилия во введенных связях, линейные и угловые перемещения в центре каждой плиты и поперечные силы в соединительных шарнирах.

Расчет на прочность выполним с помощью программного комплекса для расчета строительных конструкций и сооружений Autodesk Structural Analysis Professional 2017.

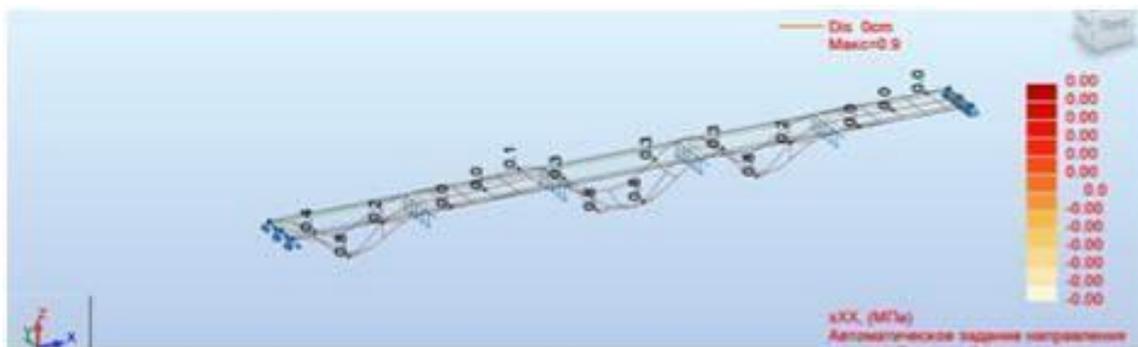


Рисунок 6. – Деформации плиты от внешних нагрузок с учетом собственного веса

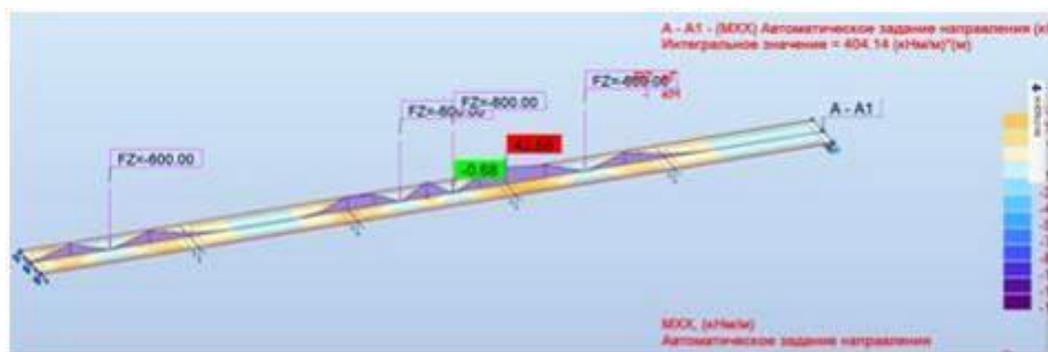


Рисунок 7. – Эпюры моментов

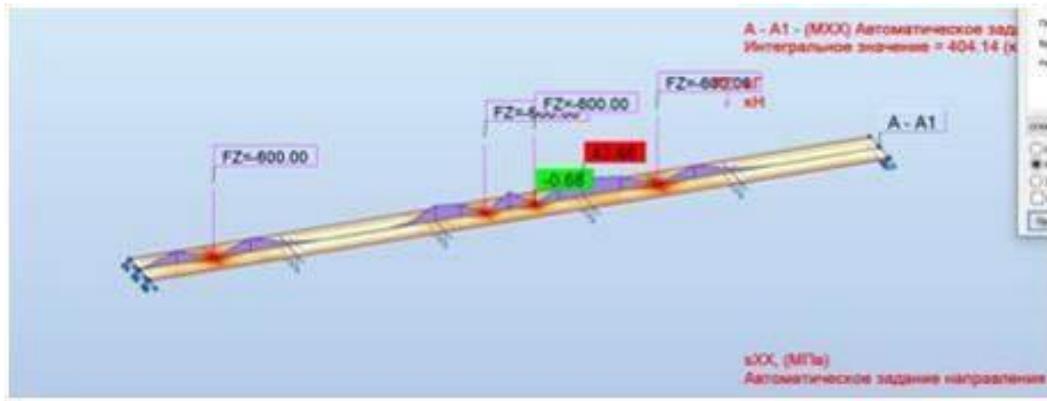


Рисунок 8. – Эпюры напряжений в плите

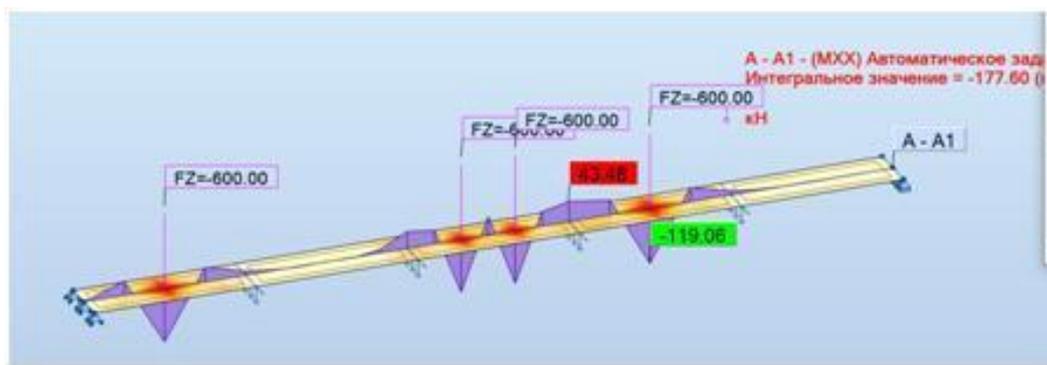


Рисунок 9. – Эпюры от сосредоточенных нагрузок

**Заключение.** Выполненные расчеты с использованием Autodesk Structural Analysis Professional «ROBOT»2017 позволяют получить реальную картину нагружений прямоугольных плит. Полученные результаты могут быть использованы при расчете сборных железобетонных дорожных и аэродромных плит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босаков, С. В. Контактная задача для шарнирно-соединенных прямоугольных плит на упругом основании / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров = Perspective Directions of Innovative Development of Construction Industry and Engineering Training: 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. 308–313. – Библиогр.: с. 313 (9 назв.).

УДК 659

## СИСТЕМА ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ВО ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

*А.В. Попова, А.А. Скидан*

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

e-mail: [sashka\\_20@mail.ru](mailto:sashka_20@mail.ru)

*Рассматривается проектирование единой гармоничной системы визуальной навигации для кафедры дизайна и моды УО «ВГТУ». Определены требования предъявляемые к системе навигации, целевая аудитория, графическая составляющая. Представлено проектное решение системы визуальной навигации и пиктограмм, соответствующее современным тенденциям.*

***Ключевые слова:** система визуальной навигации, пиктограммы, современные тенденции, суперграфика, кафедра дизайна и моды.*

## VISUAL NAVIGATION SYSTEM IN THE INTERNAL STRUCTURE PUBLIC PREMISES

*A. Popova, A. Skidan*

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

e-mail: [sashka\\_20@mail.ru](mailto:sashka_20@mail.ru)

*The article considers the design of a unified harmonious system of visual navigation for the Department of Design and Fashion of the UO «VSTU». The requirements for the navigation system, the target audience, and the graphic component are defined. The design solution of the visual navigation system and pictograms, which corresponds to modern trends, is presented.*

***Keywords:** visual navigation system, pictograms, modern trends, supergraphics, department of design and fashion.*

**Введение.** Ориентирование в пространстве как процесс нахождения человеком комфортных маршрутов передвижения и установления собственного местопребывания в определенном временном участке относительно привязки к территории с незапамятных времен является неотъемлемой частью жизнедеятельности человека [1].

На сегодняшний день зарубежный графический дизайн, благодаря собственному огромному вкладу в становлении навигационных графических систем, является основой возведения компетентно работающей системы визуальных коммуникаций в области городского пространства, использующей богатый арсенал средств и способов организации, находящейся вокруг среды [1].

Целью проекта является проектирование единой гармоничной системы визуальной навигации для кафедры дизайна и моды УО «ВГТУ».

Тема актуальна для данного учебного заведения, так как у кафедры дизайна и моды УО «ВГТУ» нет единой гармоничной системы навигации. Не всегда легко найти нужный кабинет или понять где расположен деканат или буфет, что приводит к дезориентации посетителя.

Идея и новизна отображаются в особом подходе к отображению содержания и созданию системы визуальной навигации. В проекте использована суперграфика, которая отлично вписывается в интерьер.

Практическая значимость проекта заключается в создании грамотной и эстетически приятной системы навигации, которая помогает легко ориентироваться в пространстве и поднимает общее настроение.

**Основная часть.** Учебные заведения занимают строения, внутренне пространство которых формируется из нескольких этажей с различными лестницами, переходами и коридорами. Ориентироваться в них новому человеку, довольно сложно. Благоустроенность первых посещений напрямую зависит от способности автономно разобраться и найти необходимое помещение, аудиторию [7].

Помещения общественного назначения по сравнению с другими функциональными помещениями характеризуются значительными размерами, их вместимость и структура зависят от общих размеров заведения и профиля его деятельности.

Система внутренней навигации — это ансамбль указателей, табличек, интерактивных мониторов и других составляющих, облегчающих свободное ориентирование. Визуальная навигация — система визуально-графических символов и решений, призванная решать задачи обеспечения ориентации, регулирования поведения человека в определенных предметно-пространственных ситуациях. Компетентно спроектированная внутренняя навигация помещений структурирует пространство и позволяет человеку чувствовать себя физически и психологически комфортно. Кроме того, профессионально спроектированная внутренняя навигация органично вливается в интерьер, делая его оригинальным, прогрессивным, единым стилем связывая в одно единое помещения отдельных блоков [7].

Построение системы навигации — это не только работа с информацией, но и деятельность с потребностями потребителя. Понять, что человек ищет, в какой момент он задает тот или же другой вопрос, и в каком виде он бы желал получить ответ — это групповая задача, заключение которой возможно только системным методом. При разработке системы указателей и символов важны познания психологии, культурологии, семиотики, эргономики. Большое внимание при разработке систем навигации уделяется исследованиям. До того, как сделать дизайн, анализируется протрет целевой аудитории, пользовательских предпочтений, паттернов поведения. Благодаря полученным данным, проектирование навигации становится более действенной, позволяет решить трудность в ориентировании, с которыми сталкиваются пользователи [2,3].

Главная функция навигационного дизайна — это проинформировать людей об находящейся вокруг среде. Принципиально показать информацию в ключевых позициях, чтобы поспособствовать людям двигаться в нужном направлении. Особенно актуально это для общественных пространств с большими потоками людей: метрополитен, вокзалы, аэропорты, учебные заведения, торговые центры, медицинские учреждения. Информация здесь должна быстро считываться во время перемещения и быть понятной разной категории целевой аудитории [3].

Эффективная система навигации основана на поведении человека, для нее свойственны: краткость, понятность, последовательность, недоступность лишней информации и составляющих, мешающих восприятию [3].

Кафедра нуждается в хорошей информационной поддержке. В связи с этим была создана новая понятная и качественная система навигации, которая выстраивает хорошую визуальную коммуникацию с потребителем. Навигация всегда находится на виду, поэтому очень важно, чтобы она формировала правильное мнение у посетителей, учащихся и работающих там людей, ведь хорошая система навигации косвенно подтверждает надежность и качество образования заведения, гарантирует, что кафедра соблюдает образцовый порядок: начиная от внешнего вида и заканчивая гарантией качественного обучения творческой профессии.

В ходе проведения анализа внутренней структуры здания, где находится кафедра, были выявлены некоторые особенности. Коридоры унылые и плохо освещены, не всегда легко найти нужный кабинет или понять где расположен деканат или буфет, что приводит к дезориентации посетителя, поэтому помещения нуждаются в хорошей системе навигации. Так как кафедра дизайна и моды — это место сбора творческих людей — там должна витать дружелюбная творческая атмосфера, которая будет заряжать энергией вдохновения, поднимать настроение и придавать новые силы.

Система навигации для кафедры спроектирована в согласовании со следующими требованиями:

- информативность – обеспечение несложной, быстрой, доступной, комфортной навигации;
- наглядность – обеспечение быстрого распознавания;
- единообразии визуальных составляющих системы навигации вне зависимости от вида носителя информации (указатели, таблички, и др.);
- эстетичность – способность визуальных элементов системы навигации органично вписываться в среду, где они используются, охватывая здания и прилегающие территории;
- толерантность – соотношение визуальных составляющих навигации восприятию представителей всевозможных национальностей, и лицами с ограниченными возможностями;
- технологичность – визуальные элементы системы должны быть просты в изготовлении, монтаже и демонтаже, обслуживании.

Целевая аудитория проекта:

- студенты (молодые люди с низким или средним уровнем дохода; им хочется находиться в красивом помещении, встречаться с друзьями, обсуждать последние новости и проблемы);
- абитуриенты (у них нет собственного дохода, но они имеют материальную поддержку родителей; им важно ориентироваться в пространстве, понимать где что находится, и сформулировать положительное впечатление об учебном заведении);
- работающие люди (это люди, которые работают в данном учебном заведении со средним уровнем дохода; рассудительные серьезные люди, терпеливы, сдержаны, но при всём при этом обладают живостью ума, и тягой к новым идеям);
- посетители и гости кафедры (это случайные люди разных возрастов с разным уровнем дохода; им важно быстро и легко ориентироваться в пространстве).

Система навигации соответствует современным тенденциям в графическом дизайне, использован яркий и запоминающийся образ для целевой аудитории.

При разработке единой системы навигации был проведен анализ аналогов визуальных систем ориентирования в пространстве. И можно сказать, что многие системы ориентации не отвечают поставленным задачам и не имеют качественной графической подачи.

Для реализации проекта выбраны основные цвета:

- жёлтый цвет интуиции, стремления к интеллектуальным приключениям, он может помочь беспристрастно принимать мир, но также сопутствует суетливости, добродушному легкомыслию и повышает настроение;
- серый цвет напоминает о стабильности, камнях и металле, поэтому этот цвет ассоциируется с жесткостью и твердостью, но за счёт того, что этот цвет не привлекает к себе интереса, он очень комфортный, нередко сталкивается и в повседневном стиле;
- тёмно-серый цвет на грани чёрного и серого, это сочетание умиротворенности, утонченности и роскоши.

Основой к данному графическому исполнению послужил шрифт из семейства Montserrat Family – очень популярная шрифтовая гарнитура без засечек. Он деформирован путем его разреза и смещения, что является современным трендом в графическом дизайне (рисунок 1).

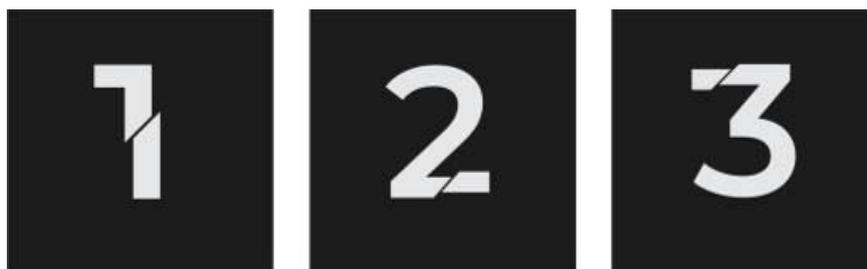


Рисунок 1. – Пример деформации шрифта

Пиктограммы так же как и нумерация кабинетов деформированны путем разреза и смещения, чтобы обеспечить единство стиля. Иконки выполнены в соответствии с современными трендами, они плоские и представлены в упрощенном варианте. Пиктограммы стилизованы достаточно просто и понятно, чтобы пользователю было легко их опознавать (рисунок 2).



Рисунок 2. – Пиктограммы

Нумерация этажей так же выполнена в едином стиле. Для каждого этажа был выбран свой цвет для того чтобы было легче ориентироваться. Пиктограммы и нумерация кабинетов окрашены в цвет этажа (рисунок 3).



Рисунок 3. – Нумерация этажей

Информационная поддержка расположена максимально удобно и понятна посетителю. При входе в фойе, посетитель встречается с суперграфикой, которая сразу задаёт настроение. Так же, благодаря ей, все элементы системы навигации приводятся к единому гармоничному образу. Цветовая гамма: тёмно-серый, жёлтый, серый (рисунок 4).



Рисунок 4. – Суперграфика в фойе первого этажа

Если рассматривать подробнее изображение, то можно увидеть, что концепция проекта построена на особых элементах: стрелках. Эти элементы отходят от стены на пол, что создаёт интересный и современный вид композиции. Так же этот элемент можно заметить прямо над дверью, он жёлтый, и вписывается в общую композицию, дополняя, как и массивные элементы, так и нумерацию кабинетов, которая располагается на стене, справа от двери, крупными стилизованными цифрами (рисунок 5).



Рисунок 5. – Навигация в фойе первого этажа

При входе в здание можно заметить навигацию по этажам, что однозначно решает проблему с дезориентацией. Нумерация этажей и кабинетов нанесены на стену краской, а пиктограммы – в съёмных табличках, что позволяет легко их менять при необходимости.

По левой и правой стороне расположены съёмные таблички с пиктограммами, которые помогают ориентироваться в пространстве. Есть указатель, который показывает где и что расположено, и на какой стороне находится нужный кабинет, это решает проблему дезориентации в пространстве (рисунок 6).



Рисунок 6. – Навигация на первом этаже

Навигация в лестничном проеме выполнена в едином колорите: первый и третий этажи жёлтый на тёмно-сером, второй и четвертый – черный на сером. Такой метод разделения цветом, поможет легче ориентировать в пространстве посетителя (рисунок 7).



Рисунок 7. – Навигация в лестничном проеме

Неотъемлемой частью также является создание качественного изображения на стенах и съёмных табличек, которые ежедневно будут на виду у посетителей и станут формировать мнение о заведении.

Для нанесения изображений применена суперграфика, которая наносится краской на заранее подготовленные стены. Суперграфика – графическое изображение, которое размещено на объемно-пространственном объекте.

Главный признак суперграфика – активность взаимодействия с формой, обусловленная самостоятельностью цветографики по отношению к объемно-пространственной форме. Суперграфика во многом способствует обновлению старой застройки, скудной по цвету и форме.

Информационная роль цвета приобретает особую актуальность в высокоурбанизированной среде современных центров крупных населенных пунктов, где остро возникают вопросы ориентации человека в пространстве. Суперграфика несомненно поможет ещё лучше ориентироваться в среде.

Таблички – самый разнообразный вид рекламных изделий по возможным сочетаниям материалов и технологий изготовления. Табличка у двери организации служит комфортным информационным указателем месторасположения. Основным материалом для изготовления табличек является пластик.

**Заключение.** Разработанный проект полностью соответствует требованиям и направлению деятельности кафедры дизайна и моды УО «ВГТУ». Пиктограммы и нумерация помогут посетителю быстро ориентироваться в пространстве. Созданная суперграфика отлично вписывается в учебное заведение, привлекает внимание, вызывает интерес и поднимает настроение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бекишев М. А. Историография визуальных систем ориентирования в пространстве // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. — 2011. — № 127. — С. 193-204.
2. Хоменко О.В. Современные тенденции навигационного дизайна в образовательных учреждениях // Творчество молодых: дизайн, реклама, информационные технологии: материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов. Научный редактор А. В. Голунов. 2018. — С. 68-72.

3. Хоменко О.В. Навигационный дизайн как инструмент коммуникации в общественном пространстве // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых: сборник трудов VIII Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 23 апреля 2019 / науч. ред. Д.В. Валько, А.С. Мальцева. – Челябинск: ОУ ВО «ЮжноУральский институт управления и экономики», 2019. – 726-732.
4. Попова А. В., Информационный проект для Национального Академического драматического театра имени Якуба Коласа / А. В. Попова, Ю. А. Хоняк / Международный научно-практический симпозиум «Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь», октябрь 2020/ УО «ВГТУ». – Витебск, 2020. – С. 227–230.
5. Попова А. В., Дизайн-технологии в разработке интернет-сайтов / А. В. Попова, Е. И. Павловская / Международный научно-практический симпозиум «Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь», октябрь 2020 / УО «ВГТУ». – Витебск, 2020. – С. 221–224.
6. Попова А. В., Сравнительный анализ дизайна упаковки зарубежных стран и РБ / А. В. Попова, Д. А. Стасюк / Материалы 53-я Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 2019 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2020, с 93–96.
7. Elitmaket [Электронный ресурс] / Изготовление навигации для центров образования и ВУЗов. – Москва, 2021. – Режим доступа: <https://elitmaket.ru/articles/izgotovlenie-navigatsii-dlya-tsentrov-obrazovaniya-i-vuzov/>. – Дата доступа: 27.03.2021 г.

УДК 747

## РОЛЬ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ОБРАЗА В ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ СРЕДЫ ДЕТСКОЙ ШКОЛЫ ИСКУССТВ

*Н.Н. Самутина, В.Д. Захаревич*

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

e-mail: [samusiya@mail.ru](mailto:samusiya@mail.ru)

*В работе рассмотрена роль художественного образа в проектировании среды для дополнительного образования детей. Показан вариант модернизации существующих интерьеров детской школы искусств г. Борисова. Для этого изучена история возникновения детских художественных школ, проанализированы аналоги помещений в Республике Беларусь и за рубежом. В результате определены основные требования к проектированию данного рода помещений, выполнен дизайн-проект интерьеров, создана открытая, творческая среда и разработать фирменный стиль и оформление помещений.*

**Ключевые слова:** художественный образ, модерн, дизайн-проект, фирменный стиль.

## THE ROLE OF THE ARTISTIC IMAGE IN THE DESIGN OF THE CHILDREN'S SCHOOL ENVIRONMENT ARTS

*N. Samutsina, V. Zaharevich*

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

e-mail: [samusiya@mail.ru](mailto:samusiya@mail.ru)

*The paper considers the role of the artistic image in the design of the environment for the additional education of children. A variant of modernization of the existing interiors of the Borisov Children's Art School is shown. For this purpose, the history of the emergence of children's art schools is studied, analogs of premises in the Republic of Belarus and abroad are analyzed. As a result, the main requirements for the design of this type of premises are determined, the interior design project was completed, an open, creative environment was created, and the corporate identity and design of the premises are developed.*

**Keywords:** art image, modern, design-project, brand name.

**Введение.** Цель работы заключается в изучении роли художественного образа в дизайн-проектировании среды существующих интерьеров детской школы изобразительных искусств г. Борисова, создании фирменного стиля школы. Модернизация и оформление интерьеров необходимо для организации открытой, творческой среды, как для работников, так и для учащихся. Изобразительному искусству принадлежит одно из ведущих мест в процессе формирования творческих способностей, креативного мышления детей. Актуальность темы заключается в том, что в настоящее время окружающая среда урбанизирована, архитектурно преобразована, она стала объектом пристального внимания и серьёзных исследований. Именно поэтому для развития человеческих ресурсов важен всесторонний анализ основ проектирования детских образовательных учреждений, в частности, детских школ искусств. Синтезируя науку, технику и искусство, дизайн создаёт эстетический образ, который напрямую воздействует на самосознание молодого поколения.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- разработать общую концепцию интерьеров кабинета рисунка-живописи, кабинета учителя и места хранения инвентаря;
- изучить и проанализировать аналогичные помещения в школах искусств ближнем и дальнем зарубежье;
- рассмотреть основные требования и стандарты к проектированию интерьера помещений детских художественных школ;
- продумать структуру и организацию зонирования помещений;
- подобрать подходящие материалы и оборудование;
- создать дизайн-проект интерьера кабинета рисунка и живописи в детской художественной школе с максимальной комфортностью и уютом в соответствии с современными требованиями к пространству и материалам;
- создать необходимое количество мест для хранения художественного инвентаря и фонда работ.

**Основная часть.** Художественный образ рассматривается в дизайне в основном в контексте единичного объекта, и представляется как одно из важных средств формирования среды человека. Предметная организация пространства по своей структуре обладает способностью к трансформации, которая должна приносить эстетическую составляющую в облик человека. В последнее время все большее распространение получают формы с ярко выраженным эмоционально-образным содержанием.

Исходя из цели и задач работы ключевую часть проекта решено построить на интерьерной графике как источнике вдохновения для учеников. Суперграфику часто вводят в статичное пространство для зрительного преобразования. Дизайнеры для этого приема используют иллюстрации знаменитых художников, работающих в стиле модерн. Правильно размещенные полотна визуальнo разделят большое помещение на отдельные зоны, создавая атмосферу новизны и нестандартности. Один из представителей стиля модерн – Густав Климт — художник-монументалист. Начинал он с росписи стен и сводов австрийских театров, а его живопись отличалась декоративностью и эмоциональностью. К росписи он подходил как дизайнер — так, чтобы и оформление, и обстановка были единым целым. У его произведений нестандартные решения, что очень подходит вдохновения творческих людей. Картины отличаются орнаментальным фоном и выразительностью, которая достигается благодаря различным изысканным нюансам. В иллюстрациях Г. Климта используются мелкие детали, геометрия, животные, знаки и прочее, чем можно дополнить и разнообразить красочность в интерьере, а плавные природные узоры и орнаменты на картинах можно рассматривать часами.

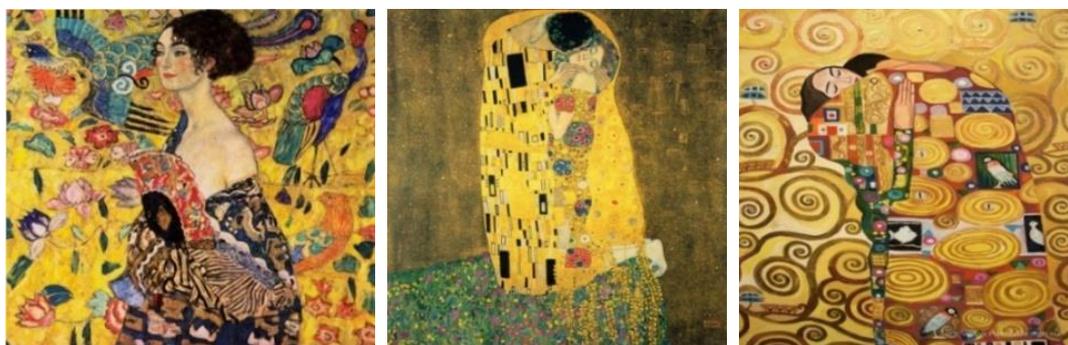


Рисунок 1. – Работы Густава Климта: Дама с веером, Поцелуй и Древо жизни

Установлено, что модернизация в помещении для учебного художественного учреждения должна соответствовать определенным условиям. Типовой школьный кабинет изобразительных

искусств должен быть оборудован специальными предметами: шкафы, столы (мольберты), стулья, классную доску, рисовальные доски, осветительные приборы, уголки и подставки для установки натуральных постановок и др. В группе должно быть 12-15 учащихся. Нужны специальные столы с подъемными планшетами-мольбертами.

Стол для занятий можно расставлять в зависимости от форм организации урока (в виде каре, по кругу, поперек класса, парами, по четыре). В основном расположение мольбертов или столов со стульями – по кругу рядом с друг другом, лицом к постановке. Плотность размещения учеников определяется углом зрения на натуру или постановку. Расстояние впереди между впереди сидящими учениками должно быть не менее 40 см. Кладовая для хранения инвентаря учащихся и материалов должна присутствовать во всех аудиториях для рисования. Также необходимо предусмотреть место и приспособление для хранения и сушки работ учащихся (стеллажи или полки).

Все свето-проёмы должны снабжаться занавесками или жалюзи для регулирования интенсивности светового потока. Оконные переплеты лучше из стальных профилей, которые в меньшей степени препятствуют световому потоку, чем деревянные с толстым сечением элементов.

Анализ референсов аналогов представлен на рисунке 2. Это проекты аналогичных помещений в г. Сингапуре, г. Чикаго, г. Вена и г. Париж.



Рисунок 2. – Анализ референсов

В пространство проектируемой детской школы искусств включены следующие зоны: раздевалка; кабинет рисунка и живописи; кабинет учителя; выставочная зона; хранилище. Анализируя все собранные данные, было сформулировано стилевое решение по всем зонам помещения. В связи с этим выбрана цветовая гамма, материалы, мебель и оборудование. Подобраны нужные фрагменты иллюстраций в зонах учебного помещения, которые служат основой композиции, пропорций и колористической гаммой. Произведения помогут взаимодействовать в пространстве, что не даст интерьеру рассыпаться (рисунок 3).



Рисунок 3. – Наполнение мебелью аудитории рисунка-живописи и в кабинете учителя

После решения и утверждения всех идей было конкретизировано, что все зоны будут придерживаться гармоничным и вдохновляющим решением, в котором все элементы дизайна соответствуют единому стилю. Акцент дизайна придают иллюстрации и кубические полки с ярким цветом, которые расположены в каждой зоне проекта, которых определено шесть. В первой зоне подразумевается раздевалка для учащихся и место ожидания урока. Вторая зона аудитория рисунка и живописи для проведения уроков детей данной школы. Третья зона – коридор, который делит аудиторию рисунка-живописи, кабинет учителя, хранилище и уборную зону между собой. Решено, что именно в этой зоне будут демонстрироваться на стенах фонды работ учащихся. Четвёртая зона – это кабинет учителя, где хранятся его личные вещи и рабочий инвентарь. Пятая – уборная зона, две туалетные кабины и комната с умывальниками. Отдельная зона с несколькими умывальниками для того чтобы было удобно учащимся пользоваться ими, так как часто нужно вымыть инвентарь от красок и т.п. Шестая зона служит для хранения всех вещей учащихся – это краски, кисти, стаканы, листы, работы и т.п. (рисунок 4).



Рисунок 4. – План экспликации по зонам и расстановка оборудования

Синтез представлен на этапе эскизного проектирования и включает в себе объёмно-пространственное решение. Рассматривается организация внутреннего пространства, свойства интерьера – форма, фактура, материал, свет, мебель, предметы интерьера и соединяются в единую композицию.



Рисунок 5.– Аудитория рисунка-живописи, кабинета учителя и раздевалки

Для визуализации проекта использовалось компьютерное обеспечение – Autodesk 3ds Max, для получения фотореалистичного изображения – плагин V-Ray – профессиональная программная система для создания и редактирования трёхмерной графики, а также графические редакторы Adobe Photoshop и CorelDraw.

Для объединения образа суперграфики и оборудования создана конструкция мобильного стеллажа в виде каркаса из металлических профильных труб, в который вкладывают стальные листы-полки. Размеры: высота 200x50x40 см. Такие современные системы позволяют использовать площадь помещения с максимальной эффективностью и экономить от 50 до 70 % площади помещения. Крепление полок болтовое, для большей устойчивости можно прикрутить стеллаж к стене и к потолку. Для этого используют кронштейны, анкеры и распорки. Благодаря прочности эти конструкции выдерживают большую нагрузку, не гниют, не подвержены плесени, не горят и легко монтируются (рисунок 6).

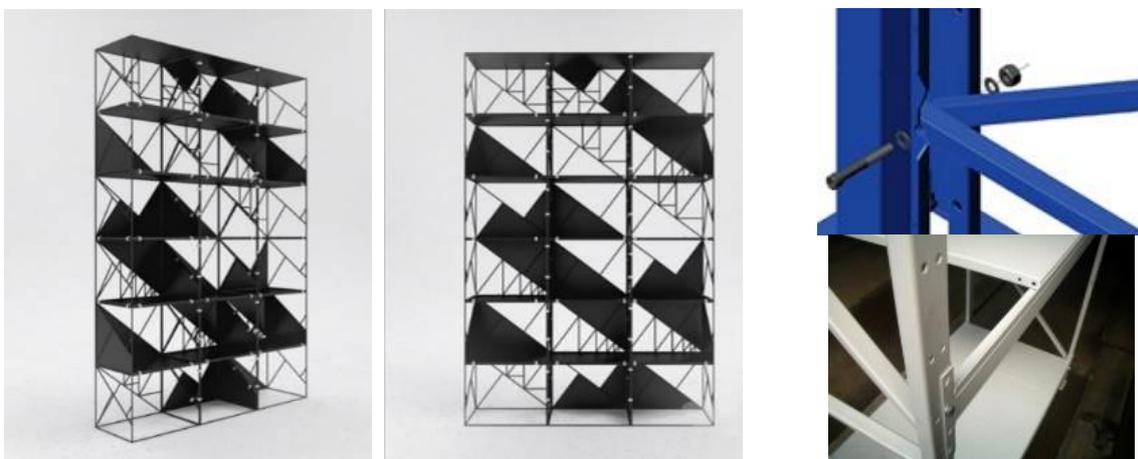


Рисунок 6. – Стеллаж и болтовое крепление

**Заключение.** В работе по заданию руководства школы искусств г. Борисова достигнута цель по разработке дизайн-проекта интерьера. Для чего изучена история возникновения школ искусств в ближнем и дальнем зарубежье, рассмотрены аналоги проектируемых пространств за рубежом. Изучена возможность использования суперграфики в интерьере для создания фирменного стиля помещения с применением работ Г. Климта. Рассмотрены методы зонирования пространства в кабинетах школ искусств и технические средства, используемые для обучения.

Определена роль художественного образа при проектировании интерьеров школы искусств, детально проработано проектное решение, проектный план и вариант зонирования помещения. В результате чего разработана концепция дизайн-проекта интерьеров кабинета рисунка и живописи, места раздевалки для учеников, кабинета учителя, выставочного пространства, места хранения инвентаря и фондов работ детской школы искусств с использованием единого стиля.

Помимо этого, занятия помогает детям овладеть целым рядом навыков в области изобразительной, конструктивной и декоративной деятельности. Поэтому руководством школы искусств г. Борисова.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаревич, В.Д. Дизайн-проект интерьеров детской художественной школы / В.Д. Захаревич, Н.Н. Самутина // материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности», Витебск, ВГТУ, 13–14 ноября / УО «ВГТУ». — Витебск, 2019. — С. 107-108.

2. Zaharevich, V. Interior Project of Children's Art School / V. Zaharevich, N. Samutsina // Articles of the IV International Scientific and Practical Conference «Education and Science in The 21st Century», November 14, 2019 / EE «VSTU». - Vitebsk, 2019. - P. 56-59.
3. Войтович, В.С. Дизайн-проект социального пространства ГУО «Средняя школа № 34 г. Витебска» / В.С. Войтович, Н.Н. Самутина // Материалы докладов 52 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов в 2 т. Т 2 / УО «ВГТУ». — Витебск, 2019. — С. 98-100.
4. Войтович, В.С. Дизайн-проект социального пространства / В.С. Войтович, Н.Н. Самутина // Материалы Международной науч.-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности», Витебск, ВГТУ, 13–14 ноября / УО «ВГТУ». — Витебск, 2019. — С. 101-104.
5. Vaitovich, V. Design-project of school museum / V. Vaitovich, N. Samutsina // Articles of the IV International Scientific and Practical Conference «Education and Science in The 21st Century», November 14, 2019 / EE «VSTU». Vitebsk, 2019. – С. 49-51.

УДК 725.2(476.5)

## НОВОПОЛОЦК: ФОРМАТ И ОБРАЗЫ АРХИТЕКТУРЫ ОБЪЕКТОВ ТОРГОВЛИ

**С.А. Сергачев**

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: [sergachev@hotmail.com](mailto:sergachev@hotmail.com)

*В статье рассматриваются процессы формирования объектов торговли в городе Новополоцке от начала его создания в 1958 г до современности. Показано, что архитектура торговых зданий содействует сохранению сложившейся масштабности застройки при одновременном использовании современных средств архитектурной выразительности.*

**Ключевые слова:** объект торговли, архитектура, магазин, торговый центр, оформление фасадов.

## NOVOPOLOTSK: FORMAT AND IMAGES OF THE ARCHITECTURE OF COMMERCIAL OBJECTS

**S. Sergachev**

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

e-mail: [sergachev@hotmail.com](mailto:sergachev@hotmail.com)

*The article discusses the processes of forming trade objects in the city of Novopolotsk from the beginning of its creation in 1958 to the present. It is shown that the architecture of commercial buildings contributes to the preservation of the scale of development while using modern means of architectural expressiveness.*

**Keywords:** trade object, architecture, shop, shopping center, facade decoration.

**Введение.** Объекты торговли – всегда заметная часть системы общественного обслуживания, создавалась в каждом конкретном населенном пункте даже при реализации общих принципов их формирования, с учетом своих местных условий. В Беларуси есть города, в структуре которых используются объекты торговли, сохранившиеся на местах своего давнего строительства, возведенные тому назад лет 200 (Новогрудок), даже более 500 лет (Несвиж). На каких-то исторических этапах строительство и работа объектов торговли происходило в условиях планового развития экономики и, как следствие, с использованием практически одинаковых средств архитектуры, порой с использованием одних и тех же типовых проектов, утвержденных для применения на обширных территориях.

Последние десятилетия процесс развития архитектуры торговых зданий показывает невероятное разнообразие архитектурных форм и решений. Этот процесс особенно явно заметен в архитектуре «молодых» городов, не имеющих длинной истории, что позволяет увидеть динамику процессов современности. Новополоцк – один из городов, не имеющих длинной истории, создавался еще на памяти живущего ныне поколения населения республики. Характеризовался успешностью своего градостроительного и социального развития, промышленными успехами. Последние годы показатели статистики отмечают активное развитие сферы торговли. Архитектура не остается в стороне предлагая, торговой сфере города свои особенные решения.

**Основная часть.** Новополоцк, – фактически легендарный в истории Беларуси город, несмотря на его не очень впечатляющий возраст. С начала его создания, а это 1958 г., прошло всего немногим более 60 лет. Разница особенно ощущается при таком авторитетном соседе

как древний Полоцк, который по-настоящему летописный город и овеянный воинской славой, с собственными князьями и рыцарями. Новополоцк стал иллюстрацией процессов, характерных для Беларуси XX столетия. Это исторический период, который понятен современному населению и Новополоцка, и всей республики. В архитектуре Беларуси этот город олицетворяет период успешно осуществленных производственных планов, социальных прогнозов и творческих созданий, которые не остались в проектной документации.

При сложности такого масштабного дела, как строительство города «с нуля», все микрорайоны Новополоцка стремились создавать в комплексном единстве жилой зоны с объектами обслуживания. Порой строки строительства таких сооружений затягивались, но все же стремление добиться этого было. При этом, всегда ощутимым было и стремление не идти более простым путем, то есть привязкой типовых проектов, что обеспечивало бы экономию средств. Всегда понималась именно то, что создается новый город, причем в невероятно интересной природной среде, на берегу легендарной реки – Западной Двины. Понималось, что его микрорайоны не могут быть скучными, заполненными рядовыми строениями.

Поэтому справедливо работа проектировщиков была отмечена Государственной премией Белорусской ССР 1984 года в области архитектуры. Хотя необходимость решать и проблемы экологии, а об этом когда-то в нашем обществе и вовсе не думали, потребовали улучшения условий проживания, уточнения многих позиций развития города, в том числе и приостановления расширения некоторых производств, оптимизации технологических процессов на промышленных предприятиях нефтехимического профиля.

Общей проблемой строительства тех времен было отставание ввода в действие объектов обслуживания, в частности торговых зданий. Сказывался не только недостаток средств, но и проводившаяся политика в сфере архитектуры. В СССР демонстрировалась важность для общества таких зданий, как административные, для образования и воспитания, для культурно-просветительской работы, – например клубов.

В 1931 г. Всесоюзный Комитет по стандартизации утвердил типологию зданий, по которой в стране будет осуществляться планирование строительства и отчетность о нем. Перечень состоял из 10 типов наиболее распространенных объектов. На предпоследней, 9 позиции, разместили торговые здания. После них в этом списке были лишь складские строения. Потом нормативные документы, специальная литература, учебники по архитектуре упоминали информацию о торговых зданиях практически всегда в последнюю очередь. Хотя это не соответствовало реальной значимости объектов торговли в жизни населения, в экономике страны и роли архитектуры торговых зданий в формировании образов даже крупных городов. Но эта установленная «очередность значимости» своеобразно определила и «очередность ответственности». Архитектуре торговых объектов и срокам ввода их в эксплуатацию внимания обычно отводилось меньше.

И тем не менее, в Новополоцке с самых начал создания города стремились изменить подобную практику. Это не всегда получалось, но было стремление коммунистические идеалы светлого будущего все же не откладывать на потом. Уже во временном поселке строителей, в «пионерном городке», приняли решение «вместо ранее предусмотренного приспособления каркасных бараков под магазины, привязать два типовых кирпичных магазина на 4 рабочих места каждый» [1, с. 38].

Приспособление существующих строений могло ускорить строительный процесс, обещало еще и экономию средств. Надо полагать, приняли решение сделать сразу капитально, обеспечив обслуживание на более высоком уровне. Одновременно, это решение можно воспринимать и как озабоченность качеством среды проживания. Все же выявление типологической принадлежности зданий в его внешнем облике структурирует застройку, создает точки притяжения

в градостроительных решениях, формирует композиционные акценты. А приспособленный деревянный барак такую роль не мог выполнять. Но и это решение тоже пересмотрели. В 1959 г. построили продовольственный магазин на восемь рабочих мест, – первое капитальное предприятие торговли Новополоцка. Здание из кирпича, с обширным остеклением на главном фасаде, с двумя входами (рисунок 1). Тоже типовой проект, но объемной композицией и внешним обликом, здание выделялось среди других строений и соответствовало новым веяниям архитектуры. Магазин получил название «Колос» и выполнял свои функции до 1975 г. Фактически это тоже было временное решение, но на более высоком функциональном и архитектурно-художественном уровне. Через год открыли и магазин промышленных товаров, тоже на восемь рабочих мест.

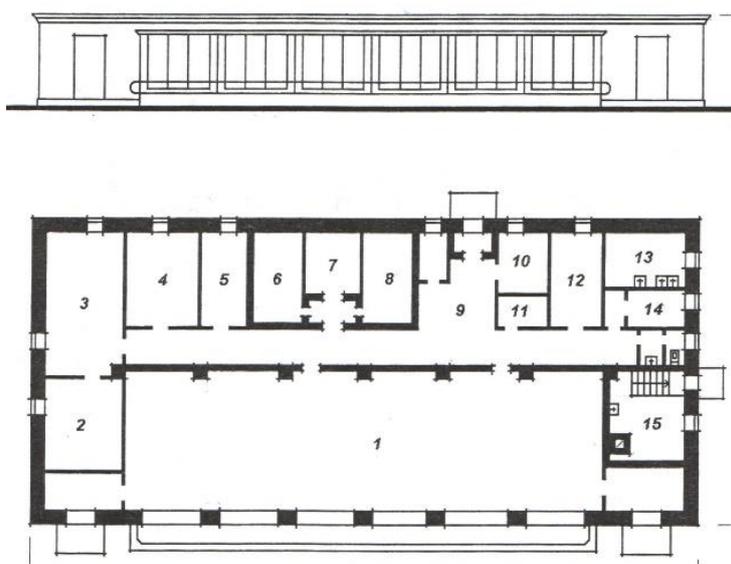


Рисунок 1. – Проект магазина «Колос» (Шлеймович, М. М. Архитектура и градостроительство Новополоцка, с. 38)

В 1964 году, а это был уже второй этап в развитии городе, значительно более интенсивный по темпам жилищного строительства, в Новополоцке появился общественно-торговый центр «Березка» [1, с. 93]. Этот период характеризовался обеспечением горожан качественным жильем, при этом старались, чтобы не отставал и ввод объектов общественного обслуживания. Особенность в том, что «Березка» стала первым в БССР примером новой типологии в архитектуре общественных зданий, – объект торговли, комплексно совмещенный с другими учреждениями обслуживания. Фактически это здание стало экспериментом в белорусской архитектуре.

В состав торгового центра входили: на первом этаже – предприятия торговли (магазины продовольственный, кулинарии, книжный, культтовары), бытового обслуживания (теле- и радиомастерские); на втором – парикмахерская, зал приема заказов и швейный цех, клубные помещения, административные помещения горпищепромторга. Но и здесь сделали отклонение от типового в сторону улучшения. Вместо столовой появился ресторан.

Со второй половины 1970-х гг. в Новополоцке переходит на укрупнение застройки, появляются и девятиэтажные панельные дома. Это потребовало и соответственно более масштабных объектов торговли. В 1978 г. завершается разработка проекта общественно-торгового центра «Двина» на ул. Молодежной [1, с. 172]. Строительство продолжалось достаточно долго (введен в действие в 1987 г.) из-за экономических проблем, которые в этот период нарастали в стране. Планировка обеспечивала четкое разделение общественного питания и торговли. Проект ин-

дидуальный, с организацией парадного внутреннего двора, через который осуществлялся доступ во все основные помещения, соединявшиеся открытой террасой. Магазин получил атриум с антресолями: торговля продовольственными товарами оставалась внизу; на втором уровне – сопутствующие товары и кафетерий. Общественное питания развитое: ресторан на 150 мест, магазин кулинарии, пивной бар. Фасад получился протяженным, эффектные наклонные участки поверхности стен отражали новые возможности средств архитектуры, направленные на создание современного выразительного образа. Впоследствии новые технологии торговли потребовали размещения мелких торговых предприятий и обеспечения возможности для сдачи площадей в аренду. Здание в связи с этим неоднократно реконструировали. Но и сейчас это заметное здание сохранило свое акцентное значение на главной магистрали города.

Несколько позднее, при строительстве в конце 1980-х гг. общественно-торгового центра «DAUGAVPILS» [1, с. 173], эти новые реалии жизни общества, в частности особенности функционирования сферы торговли, уже учитывались. От того и срок от проектирования к открытию получился намного короче. Тоже индивидуальный проект, с внутренним двориком, перекрытым фонарем. Много площади отводилось под торговлю продуктами (магазины «Универсам», «Овощи-фрукты», кулинария с кафетерием и др.). Важными точками притяжения были сберкасса, отделение связи, помещения ЖЭС и работы с населением. Наличие хозяйственного двора обеспечивало реализацию необходимых, хотя и не самых представительных функций: прием вторсырья, стеклотары, обслуживающие технические помещения. Главный фасад двухэтажного протяженного здания формировало композиционное единение крупных витринных окон первого этажа и поверхности стены второго этажа, воспринимавшейся достаточно глухой при небольших окнах. Мощные пилоны по сторонам прохода во внутренний дворик усиливали образ монументального сооружения, которое стояло в окружении девятиэтажных панельных зданий. Это здание легче приспособилось к новым формам торговли, для сдачи в аренду, для продажи в частную собственность.

Анализ сформированной в конце 1990-х гг. торговой сети Новополюцка показывает ориентацию на объекты, обеспеченные собственным постоянным потоком посетителей и с возможностью привлечения дальних покупателей, вплоть до приезжих из сельских поселений. Надо полагать, что проводились своеобразные предпроектные исследования и вырабатывалась концепция будущей торговли. В архитектуре не было желания сделать «самый большой магазин» в городе. Поэтому основные объекты торговли города как бы уравновешены даже по физическим параметрам.

С 1990-х гг. торговля стала восприниматься более важной отраслью экономики, возможности реализации личной инициативы значительно расширились. Существенно затронули сферу торговли инновационные явления: рост платежной способности населения; автомобилизация, позволяющая купить больше товара за посещение; новинки промышленности в виде упаковочных полимерных материалов; совершенствование электронных систем контроля за товарами и расчета с покупателями и др. Торговля на это ответила совершенствованием своих технологий, например размещением товаров в торговом зале с учетом целевого или импульсивного спроса покупателями. Доступными стали современные строительные и отделочные материалы и конструкции. Металл, хотя и оставался недешевым, но все же заказчик, проектировщики и строители уже не зависели от того, что он планового распределяется, как это было ранее.

А успешность архитектуры объекта торговли, как и прежде, определялся тем, насколько правильно, еще до начала проектирования, просчитывается будущий собственный поток посетителей, и в соответствии с этим принимается решение по размерам торговых зон объекта торговли [2, с. 43]. Статистические данные последних лет, с 2017 по 2019 гг., показывают, что количество розничных торговых объектов в Новополюцке увеличилось за этот период на 15,3 %

(в Республике Беларусь – на 5,5 %), торговая площадь магазинов – на 22,8 % (в Республике Беларусь – на 9,7 %). Сравнение показывает, что это выводит Новополоцк в лидеры в Беларуси по обеспечению населения торговыми зданиями. При этом, как в Новополоцке, так и в целом по Беларуси, происходит укрупнение объектов торговли, а количество небольших магазинов, павильонов и киосков продолжает сокращаться.

Во многом эти показатели являются результатом внимательного изучения социально-экономической ситуации города. Та же статистика показывает, что номинальная начисленная среднемесячная заработная плата в Новополоцке в те же 2017–2019 гг. увеличилась на 28,5 %. Реальная заработная плата постоянно прирастала по отношению к предыдущему году: в 2017 г. на 9,1 %, в 2018 г. – на 6,4 %. Немного увеличился и жилищный фонд, что потребовало от новоселов посещения магазинов. Да и численность занятого населения увеличивалась: в 2017 г. – 45 562 чел., в 2019 г. – 46 087 чел. [3, с. 110, 232, 237, 538]. Как итог, розничный товароборот на душу населения за этот период возрос на 19,3 %. Это, безусловно, принималось в расчет при принятии решений по созданию новых объектов торговли или реконструкции существующих и, конечно, при расчете сроков окупаемости затрат, ориентируясь обычно на срок в 5–7 лет. Это определяет уровень сложности принимаемых архитектурных и конструктивных решений, размеры торговых и вспомогательных площадей.

Причем, в Новополоцке прослеживаются изменения не только количественных параметров, но и качественных, определяющих особенности архитектуры торговых зданий города. Дело в том, что продолжают соблюдать в торговле формат крупного магазина, – типа универсама, торгового центра. И хотя информация, поступающая из интернет-ресурсов (<https://novopolotsk.jsprav.ru/supermarketyi/>; <https://novopolotsk.jsprav.ru/gipermarketyi/>), использует слова «супермаркет» и «гипермаркет», все же объекты торговли, получая достаточно привычные, конечно обновленные и современные броские архитектурные формы, продолжают развивать сложившиеся традиционные подходы к обслуживанию населения. Ориентации на свои уже сложившиеся потоки покупателей способствует четкая планировочная структура городской застройки на основе небольших по площади и количеству населения микрорайонов. Здания торговых центров прежних лет строительства сохранили свое функциональное назначение, что позволило сохранить и радиусы обслуживания жителей каждого микрорайона. Сменились хозяева торговых объектов, обычно расширилась линейка товаров [4].

Планировочные и конструктивные характеристики торговых зданий осложняли размещение современного ассортимента товаров, невероятно широкого по сравнению с не так далекими временами. Не хватало площадей для выкладки товара, конструктивная основа зданий не всегда могла обеспечить создание обширных залов. Потребовались реконструкция, улучшение технического обеспечения торгового процесса (рисунок 2). Откровенно новые формы в архитектуру пришли с оформлением фасадов, использованием нового торгового оборудования, броским дизайном интерьеров, активностью форм рекламы.

Но в Новополоцке не появилось торговых объектов с откровенно промышленными образами архитектуры, выявляющими лишь технологичность процессов, происходящих в зданиях. Подобные крупномасштабные торговые здания были созданы во всех областных центрах республики. В Новополоцке, хотя этот город является одним из важнейших промышленных и научных центров, продолжается сохранение среды иной масштабности, более соответствующей полноценной среде проживания, с учетом контекста существующей среды. Показательно архитектурное решение магазина «Алеся», фасады которого своеобразно имитируют структуру фасадов панельных жилых домов в окружающей застройке микрорайона (рисунок 3).



Рисунок 2. – Торговый центр «Стрелецкий олимп», ранее ТЦ «Двина» (<https://gorod214.by/new/1837>)



Рисунок 3. – Магазин «Алиса» (фото автора)

**Заключение.** Анализ объектов торговли на разных этапах развития Новополоцка, – города областного подчинения, показал, что архитектура общественных зданий, даже достаточно несложных объектов торговли, реализовывалась с учетом особого, повышенного внимания к ним, не позволяя ограничиваться обычной привязкой типовых решений. Торговые здания прежних лет строительства продолжают функционировать на своих местах, привычных постоянному покупателю. Поэтому не используются какие-то особо оригинальные архитектурные формы для привлечения посетителей, не делается укрупнение формата торговых зданий до супермаркета или гипермаркета. Архитектура торговых зданий Новополоцка содействует сохранению сложившейся масштабности городской застройки при одновременном использовании современных средств архитектурной выразительности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шлеймович, М. М. Архитектура и градостроительство Новополоцка / М. М. Шлеймович. – Новополоцк : ПГУ, 2013. – 252 с.
2. Канаян, К. Проектирование магазинов и торговых центров / К. Канаян, Р. Канаян, А. Канаян. – М. : «Юнион–Стандарт–Косалтинг», 2008. – 424 с.
3. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели. Стат. сб. Т. 1 ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – 776 с.
4. «Двина» стала «Стрелецким олимпом». Еще один торговый центр появился в Новополоцке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gorod214.by/new/1837>. – Дата доступа: 20.09.2018.

УДК 69.052

**РЕАЛИЗАЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «БЕЗОПАСНЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ» В РАМКАХ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ ОРЕНБУРЖЬЯ****И.А. Оденбах, Е.Б. Таурит**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»  
e-mail: ztayrit@rambler.ru

*Статья посвящена проблемам благоустройства областного центра Оренбургской области города Оренбурга и их решениям в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Проблемы и решения благоустройства города Оренбурга решаются в рамках муниципальной программы «Формирование современной городской среды на территории муниципального образования «город Оренбург» на 2018-2022 года». В рамках реализации этой программы разработан приоритетный проект «Формирование комфортной городской среды».*

**Ключевые слова:** благоустройство, планировочные и технические средства, обустройство и оборудование улиц, проектные решения, режим движения.

**IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL PROJECT "SAFE AND HIGH-QUALITY HIGHWAYS" WITHIN THE FRAMEWORK OF THE URBAN AGGLOMERATION OF ORENBURG REGION****I. Odenbach, E. Taurit**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State University»  
e-mail: ztayrit@rambler.ru

*The article is devoted to the problems of improvement of the regional center of the Orenburg region of the city of Orenburg and their solutions within the framework of the national project "Safe and high-quality highways". Problems and solutions for the improvement of the city of Orenburg are solved within the framework of the municipal program "Formation of a modern urban environment in the territory of the municipality "city of Orenburg" for 2018-2022". As part of the implementation of this program, a priority project "Creating a comfortable urban environment "was developed.*

**Keywords:** landscaping, planning and technical means, arrangement and equipment of streets, design solutions, traffic mode.

Благоустройство городов – одна из актуальных проблем современного градостроительства. Оно решает задачи создания благоприятной жизненной среды с обеспечением комфортных условий для всех видов деятельности населения. Благоустройство городов включает ряд мероприятий по улучшению санитарно-гигиенических условий жилой застройки, транспортному и инженерному обслуживанию населения, искусственному освещению городских территорий и оснащению их необходимым оборудованием, оздоровлению городской среды при помощи озеленения, а также средствами санитарной очистки.

Планировочные и технические средства обустройства и оборудования улиц должны обеспечивать благоприятный и безопасный режим движения транспорта и пешеходов.

Безопасность движения обеспечивается комплексом проектных решений по различным элементам и инженерным устройствам дорог.

Основными мероприятиями, направленными на повышение безопасности движения в населенных пунктах, повышение допустимых скоростей движения и улучшение экологической обстановки населенных пунктов, через которые проходит автомобильная дорога, являются:

- а) разделение путей движения автомобилей и пешеходов, устройство тротуаров вдоль линии застройки;
- б) организация перехода дороги пешеходами в специально оборудованных местах;
- в) разделение транзита и местного движения;
- г) организация движения автомобилей в пределах населенного пункта - оборудование пересечений знаками, канализирование пересечений, введение светофорного регулирования, выделение улиц грузового и одностороннего движения;
- д) оборудование автобусных остановок;
- е) устройство мест стоянки для автомобилей в местах их сосредоточения;
- ж) освещение дороги в пределах всего населенного пункта или на наиболее опасных участках;
- з) мероприятия по «успокоению движения».

В современных условиях весьма важной является проблема сохранения и оздоровления среды, окружающей человека в городе, формирования в городе условий, благотворно влияющих на психофизическое состояние человека, что особенно важно в период интенсивного роста городов, развития всех видов транспорта, повышения с каждым годом тонуса жизни.

В Оренбурге в 2020 году в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» приведено в порядок 17 участков городских дорог с использованием в конструкции дорожной одежды геосинтетического полотна «Дорнит».

«Дорнит» является одной из разновидностей геотекстиля. Этот материал представляет собой нетканое полотно – разработка российской полимерной промышленности. Его характеристики соответствуют принятым стандартам, он отличается невысокой стоимостью, достаточной распространенностью в России. Нетканые и тканые материалы из полимерных волокон, которые объединяют под общим названием геотекстиль, несмотря на недавнее появление на рынке, уже получили распространение в различных областях. Многие строительные, сельскохозяйственные, ландшафтные работы не обходятся без применения геосинтетических материалов. Отечественный нетканый геотекстиль выпускается разной плотности (от 100 до 600 гр./кв.м), толщины (от 1,7 до 4,7 мм), поступает в продажу в рулонах для максимального удобства его укладки. Он предназначен для:

- разделения слоев при укладке многослойного покрытия, а также предотвращения смешивания разнородных материалов;
- дренажа и фильтрации, благодаря высокой водопроницаемости, способности к задерживанию механических частиц;
- гидроизоляции строительных конструкций и сооружений;
- армирования, благодаря устойчивости к разрыву и деформации.

Использование геотекстиля на городских дорогах Оренбурга позволило снизить расходы на стройматериалы и значительно увеличить срок службы дорожного полотна. При мониторинге проезжей части городских дорог, было отмечено, что дорожная одежда, уложенная с применением дорнита, реже нуждается в проведении ремонтных работ. Благодаря высокой устойчивости к разрыву, это высокоплотное нетканое полотно препятствует появлению на поверхности дорожного покрытия трещин и провалов, делая его более стойким к статическим и динамическим нагрузкам.



Рисунок 1. – Отбор образцов покрытия проезжей части ул. Комсомольская, город Оренбург

Применение геополотна позволило обеспечить экономичность конструкций дорожных одежд усовершенствованного капитального типа на контакте слоев из зернистых материалов и дополнительных слоев оснований, а также решить проблему снижения затрат на техническое обслуживание при небольших вложениях и существенно увеличить срок службы дорожного покрытия.

Дорожная служба должна уделять особое внимание сохранению высоких светоотражающих свойств дорожного покрытия и дорожных знаков, своевременно выполняя очистку покрытия от грязи и обеспечивая быстрый отвод воды с проезжей части.

Проблемы и решения благоустройства города Оренбурга решаются в рамках муниципальной программы «Формирование современной городской среды на территории муниципального образования «город Оренбург» на 2018-2022 года». В рамках реализации этой программы разработан приоритетный проект «Формирование комфортной городской среды».

Цели муниципальной программы – системное повышение качества и комфорта городской среды на территории муниципального образования «город Оренбург»

Задачи муниципальной программы:

1. Благоустройство дворовых территорий муниципального образования «город Оренбург», нуждающихся в благоустройстве и подлежащих благоустройству.
2. Благоустройство общественных территорий муниципального образования «город Оренбург», нуждающихся в благоустройстве и подлежащих благоустройству.
3. Благоустройство объектов недвижимого имущества (включая объекты незавершенного строительства) и земельных участков, находящихся в собственности (пользовании) юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, подлежащих благоустройству не позднее 2022 года за счёт средств указанных лиц в соответствии с заключенными соглашениями.

4. Инвентаризация уровня благоустройства индивидуальных жилых домов и земельных участков, предоставленных для их размещения, с заключением по результатам инвентаризации соглашений с собственниками (пользователями) указанных домов (земельных участков) об их благоустройстве не позднее 2022 года в соответствии с требованиями Правил благоустройства муниципального образования «город Оренбург».

Для достижения цели и решения задач, поставленных муниципальной программой, был разработан комплекс мероприятий на 2018-2022 года.

1. Комплекс мероприятий по освещению.

Освещение осуществляется стационарными установками освещения дорожных покрытий и пространств в транспортных и пешеходных зонах. Стационарные осветительные установки предназначены для обеспечения безопасности движения транспортных средств и пешеходов, а также повышение пропускной способности улиц в ночное время суток.

Для освещения проезжей части улиц и сопутствующих им тротуаров в зонах интенсивного пешеходного движения применять двухконсольные опоры со светильниками на разной высоте, снабженными разнспектральными источниками света. Над проезжей частью улиц, дорог и площадей светильники на опорах устанавливаются на высоте не менее 8 м. В пешеходных зонах высота установки светильников на опорах может приниматься, как правило, не менее 3,5 м и не более 5,5 м. Опоры уличных светильников для освещения проезжей части магистральных улиц (общегородских и районных) могут располагаться на расстоянии не менее 0,6 м от лицевой грани бортового камня до цоколя опоры, на уличной сети местного значения это расстояние допускается уменьшать до 0,3 м при условии отсутствия автобусного или троллейбусного движения, а также регулярного движения грузовых машин.

2. Применение светофорного регулирования.

Светофорная сигнализация является основным видом технических средств регулирования уличного движения.

Применение светофорного регулирования позволит:

- обеспечивать заранее намеченный порядок пропуска транспорта и пешеходов;
- предупреждать дорожно-транспортные происшествия или по крайней мере уменьшить их количество;
- при соответствующем расчете координированной работы светофоров получить непрерывную или почти непрерывное движение следующего по улице транспорта.

3. Разметка проезжей части термопластиком.

Дорожная разметка в виде линии, надписей и других обозначений, наносится на проезжую часть, бордюры, элементы дорожных сооружений и обстановки, улицы, устанавливает порядок движения, показывают габариты дорожных сооружений или указывают направление дороги.

На перекрестках дается разметка пешеходного перехода, где движение регулируется светофором.

Предусмотрено произвести разметку проезжей части термопластиком, что позволит увеличить срок эксплуатации разметки.

4. Установка дорожных знаков.

Ориентирование водителей обеспечивается установкой дорожных знаков. Дорожные знаки устанавливаются в соответствии с ГОСТ Р 52290-2004 «Знаки дорожные». Дорожные знаки способствуют установлению безопасного режима движения с учетом характера особенности движения.

Знаки устанавливаются на индивидуальных опорах, на одной колонке со светофором, на кронштейнах, прикрепленных к осветительным мачтам или стенам зданий, на тросах, растяжках и так далее. Сами знаки изготавливаются из оцинкованного железа с нанесенной светоотражающей краской.

Изображения знаков должны быть выполнены материалами, обеспечивающими колориметрические характеристики по ГОСТ Р 52290-2004. Корпус и оборотная сторона знаков, а также все элементы крепления серого цвета.

5. Мероприятия для улучшения жизнеобеспечения населения и благоприятной окружающей среды.

Для улучшения жизнеобеспечения населения и благоприятной окружающей среды муниципального образования города Оренбурга, были предложены следующие рекомендации. А именно, необходимо установить биотуалеты в самых оживленных районах города. Установка биотуалетов представляет собой экологически безопасный цикл утилизации отходов жизнедеятельности человека. Установленные на улицах города маленькие урны, необходимо заменить на более вместительные, последовав опыту зарубежных стран. Организация бестранспортных дворов с выносом проездов и стоянок в междворовое пространство, решит проблему парковок во дворах. В условиях высокоплотной застройки, трудно бывает обеспечить возможность для занятий физкультурой и спортом, более длительных, регулярных прогулок на свежем воздухе, широкое распространение этой проблемы получили пешеходные эстакады, организованные над уровнем улицы. Озеленение жилого двора также должно быть плановым, стильным. Важно выделить или, при необходимости, изолировать различные функциональные зоны. При умелой организации «кулис» из кустарников и деревьев внутреннее пространство кварталов и микрорайонов легко расчленяется на отдельные уголки, позволяя рассредоточиться в пространстве мамам с колясками, беседующим старушкам, играющим детям. Следует избегать близкой посадки деревьев к жилому дому. Активно проводится сегодня озеленение крыш домов, существует реальная возможность для создания небольших частных садиков для жителей верхних этажей.

Таким образом, успешная реализация программы позволит значительно улучшить внешний облик города, обеспечит стабильность функционирования города, а также комфортные и безопасные условия проживания и жизнедеятельности его населения, обеспечит благоприятную, комфортную, доступную городскую среду для жителей и гостей города Оренбурга, в том числе инвалидов и других маломобильных групп населения, повысит инициативность жителей в участии реализации программных мероприятий, направленных на благоустройство дворовых территорий и общественных пространств города.

**Вывод:** Экологическое, нравственное и культурное воспитание населения вносит огромный вклад в охрану окружающей природной среды города Оренбурга. Создание зеленых насаждений, правильное размещение объектов благоустройства на территории города, являются важными элементами жизнеобеспечения населения и благоприятной окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Благоустройство территорий. Актуализированная редакция СНиП III-10-75: СП 82.13330.2016 [Электронный ресурс] // АО «Кодекс». – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054208>.
2. Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования (приняты письмом Росавтодора от 17.03.2004 г. № ОС-28/1270-ис). Информационно-правовой портал «Гарант» [Электронный ресурс]. – URL : <http://base.garant.ru/6178854/>.
3. Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Реализуется во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».
4. Муниципальная программа «Формирование современной городской среды на территории муниципального образования «город Оренбург» на 2018-2022 года».
5. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 6 апреля 2017 г. № 691/пр "Об утверждении методических рекомендаций по подготовке государственных программ субъектов Российской Федерации и муниципальных программ формирования современной городской среды в рамках реализации приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды» на 2018 - 2022 годы".

УДК 624.131 (575)

## К ВОПРОСУ НАДЕЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ НА ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТАХ ОРОШАЕМОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. НУКУСА, УЗБЕКИСТАН)

*И.К. Аимбетов, Р.Т. Бекимбетов*

Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук  
Каракалпакского отделения АН РУз., г. Нукус, Узбекистан.  
e-mail: [izzet\\_chf@mail.ru](mailto:izzet_chf@mail.ru)

*В статье представлен анализ существующих исследований физико-механических свойств засоленных грунтов. Приводятся результаты исследований по оценке влияния засоления и повышения роста грунтовых вод на здания г. Нукуса. Представлены карты-схемы засоления грунтовых вод и грунтов территории г. Нукуса. Установлены территории наиболее засоленных грунтов города. Приведены рекомендации по строительству и реконструкции дренажной системы города для предотвращения агрессивного влияния солей на здания.*

**Ключевые слова:** засоленные грунты, карты-схемы, физико-механические свойства грунтов, Каракалпакстан.

## ON THE ISSUE OF RELIABLE CONSTRUCTION AND OPERATION OF BUILDINGS ON SALINE SOILS OF THE IRRIGATED ZONE OF THE SOUTHERN ARAL SEA REGION (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF NUKUS, UZBEKISTAN)

*I. Aimbetov, R. Bekimbetov*

Karakalpak Scientific Research Institute of Natural Sciences of the Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Nukus, Uzbekistan.  
e-mail: [izzet\\_chf@mail.ru](mailto:izzet_chf@mail.ru)

*The article presents an analysis of existing studies of the physical and mechanical properties of saline soils. The results of studies on the assessment of the impact of salinization and increased groundwater growth on the buildings of Nukus are presented. Maps-schemes of salinization of ground waters and soils of the territory of the city of Nukus are presented. The territories of the most saline soils of the city are established. Recommendations are given for the construction and reconstruction of the city's drainage system to prevent the aggressive effect of salts on buildings.*

**Keywords:** saline soils, maps-schemes, physical and mechanical properties of soils, Karakalpakstan.

**Введение.** В аридных регионах мира нерациональное использование водных ресурсов становится причиной засоления почво-грунтов, что оказывает ощутимый ущерб экономике стран и привлекает особое внимание мирового научного сообщества различных областей, в том числе в области строительства.

Исследование влияния солей на инженерно-геологические свойства грунтов и физико-механические показатели строительных материалов направлены на повышение устойчивости, надежности строительства зданий и сооружений на засоленных грунтах. Оценка влияния солей на инженерно-геологические условия осуществляются по ряду научных исследований, таких как: изучение влияния солей на физико-механические свойства грунтов; изучение агрессивного влияния солей на работоспособность строительных материалов и защиты подземных частей зданий, сооружений от агрессивного влияния солей; разработка методов определения механических

характеристик засоленных грунтов; районирование засоленных территорий. Все это позволяет разработать рекомендации по надежному проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на засоленных грунтах.

Анализ результатов исследований научных центров мира показывают, что соли оказывают влияние на физико-механические свойства грунтов и строительных материалов. В исследованиях установлены теоретические и экспериментальные закономерности влияния солей на механические свойства грунтов, анализ которых показал, что соли в основном снижают механические показатели грунтов. Наряду с этим анализ исследований показывает, что соли приводят к преждевременному износу подземных бетонных конструкций. Так, например анализ результатов исследований [1-17] показывают, что соли оказывают влияние на механические свойства грунтов.

**Основная часть.** Одной из экологических особенностей орошаемой зоны Южного Приаралья является засоленность почво-грунтов растворимыми и труднорастворимыми солями.

Так, например, анализ данных гидромелиоративной службы Каракалпакстана показывают, что 95 процентов орошаемых земель Каракалпакстана засолены. Рост содержания солей привел к разрушению фундаментов и стен многих зданий в центре города, построенных в 1940-1950-х годах. Аналогичное засоление грунтов наблюдается практически во всех городах Южного Приаралья.

В настоящее время можно наблюдать, как под воздействием грунтовых вод происходит разрушение фундаментов и стен зданий Каракалпакстана. Особенно от подтопления и засоления грунтов страдает г. Нукус.

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 территории города наиболее широко распространенным типом четвертичного возраста являются аллювиальные отложения Амударьинского комплекса (А Q4), представленные переслаивающимися толщами песков, супесей, и глин. Эти толщи подстилаются прослойками верхнемелового отложения, представленными выветрелыми и трещиноватыми известняками.

Результаты исследований показывают, что в Нукусе происходит рост уровня подземных вод (Рисунок 1). Анализ графика, представленного на рисунке 1 показывает, что наблюдается изменение уровня подземных вод по годам. Это связано, прежде всего, с орошением этой территории и фильтрацией воды из оросительной системы магистральных каналов, протекающих через город.

Анализ архивных материалов местных изыскательских организаций показал, что в 1970 году при уровне подземных вод 2-5 м., минерализация подземных вод составляла 1.7 г/л, в 1986 году уровень грунтовых вод поднялся до 0,3-2 м, а минерализация в среднем достигла 18 г/л, в некоторых случаях до 32 г/л.

Данное обстоятельство свидетельствует об увеличении агрессивности подземных вод, что в свою очередь способствует разрушению фундаментов и стен многих зданий в центре города, построенных в 40-х и 70-х годах прошлого века. При этом г. Нукус недостаточно обеспечен дренажной системой.

Под агрессивным действием подземных вод происходит преждевременное разрушение фундаментов и стен зданий (Рисунок 2).

Для предотвращения агрессивного воздействия солей на здания необходимо оценить закономерность засоления грунтов г. Нукуса.

Для оценки характера распространения солей и определения типов солей, которые оказывают разрушающее действие на бетонные конструкции, были составлены карты засоления

грунтов Нукуса. При этом были использованы материалы существующих инженерно-геологических изысканий Нукусского филиала UzGASHKLITY. Карты составлены с использованием компьютерной программы ArcGIS. При составлении карт были обработаны результаты определений засоленности грунтов 127 скважин, залегающих до уровня подземных вод. Площадь покрытия скважинами составляет 90 кв.км. При составлении карт-схем в качестве основы была использована карта города в масштабе 1:50 000.

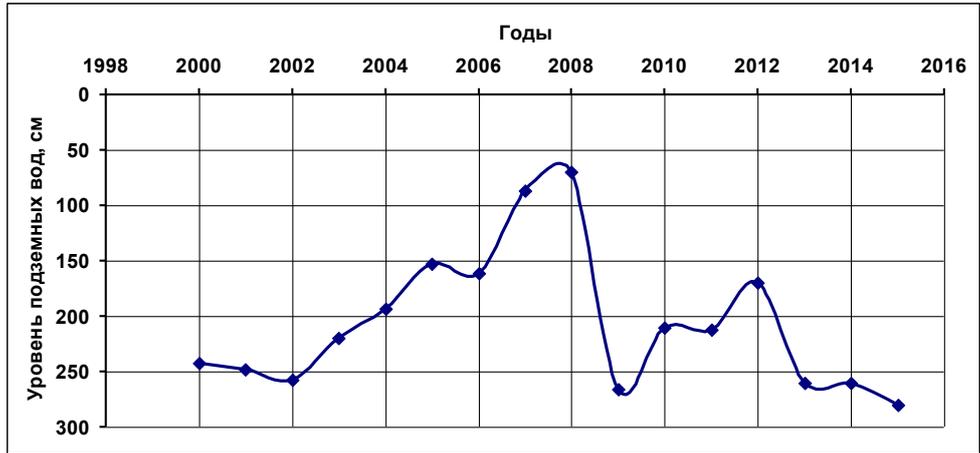
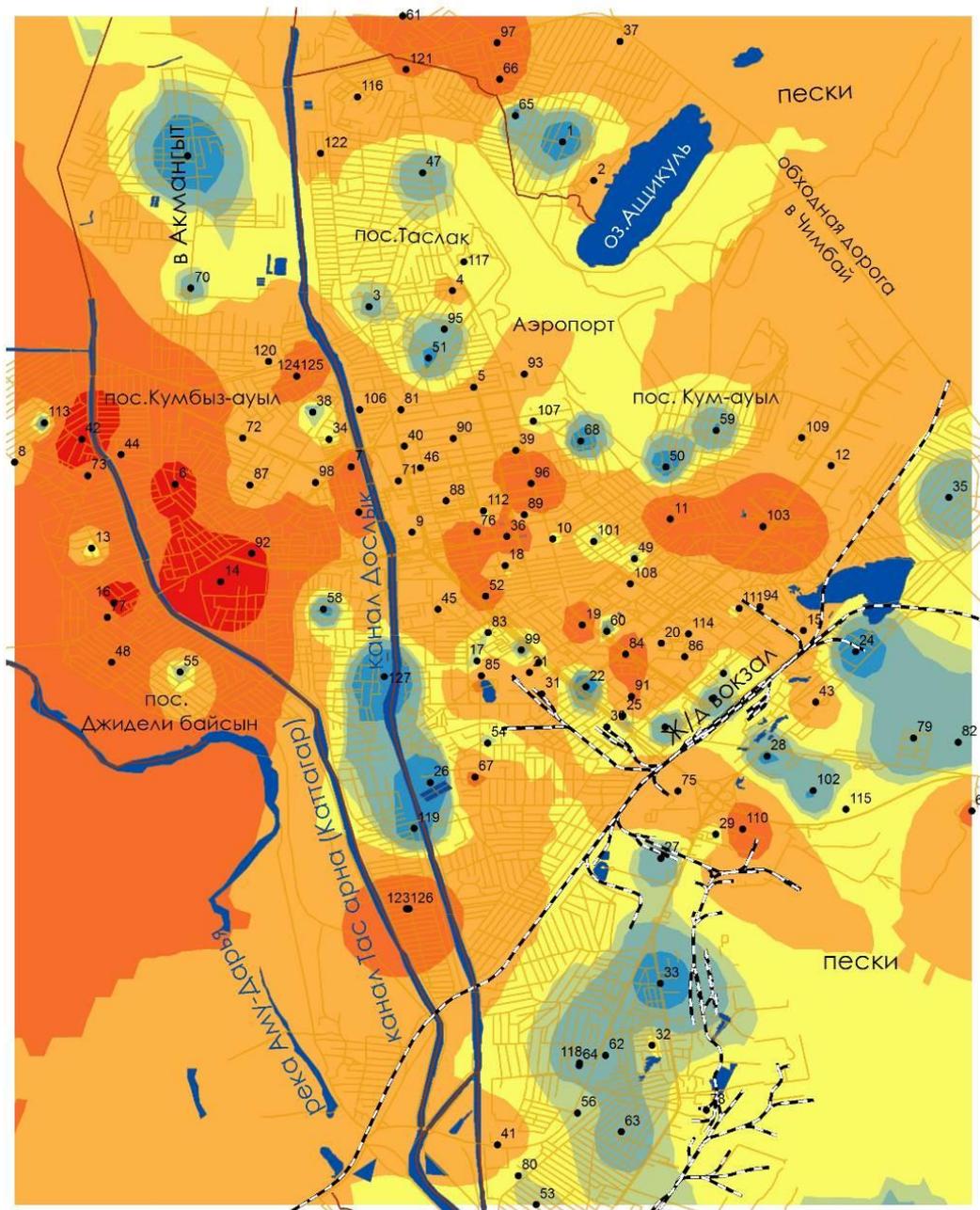


Рисунок 1. – Изменение уровня подземных вод города Нукуса



Рисунок 2. – Характер разрушения здания по ул. А. Шамуратовой г. Нукуса (2018 г)

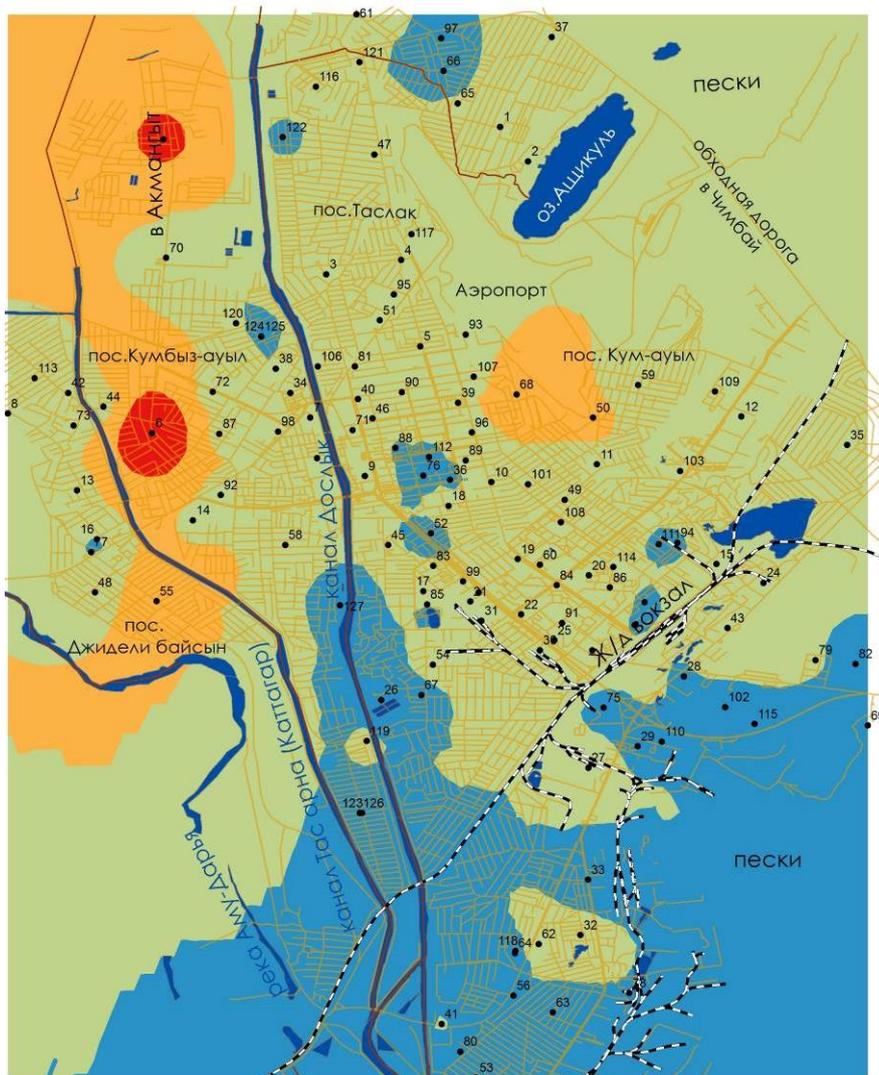
На рисунке 3 представлена карта-схема засоления грунтов г. Нукуса до уровня грунтовых вод, отражающая качественный характер засоления грунтов. Анализ карты показывает, что грунты территории города по засолённости согласно классификации В.М. Безрук и др. [3; с.454] относятся к сульфатному, сульфатно-хлоридному, хлоридному и хлоридно-сульфатному типам засоления. Причем наибольшую площадь города относится к хлоридно-сульфатному типу засоления. Максимальная засолённость грунтов достигает до 4,2%.



**Условные обозначения**

	0 - 0.28%		0.377 - 0.40%		0.51 - 0.78%		1.65 - 4.256%
	0.283 - 0.37%		0.41 - 0.50%		0.79 - 1.64%		скважины

Рисунок 3. – Карта схема засоления грунтов города Нукуса до глубины подземных вод



**Условные обозначения**



1 – сульфатный; 2- хлоридно-сульфатный; 3 – сульфатно-хлоридный; 4 – хлоридный

Рисунок 4. – Карта-схема засоления грунтов по типам засоления

Анализ карт показал, что наиболее засоленные грунты находятся, где осуществляется полив территории. По классификации по засолённости грунты относятся к не засоленным и сильно засоленным типам.

На рисунке 5 представлена карта-засоления подземных вод г. Нукуса, которая показывает, что минерализация вод достигает 32 г/л. Это показывает, что при отсутствии дренажной системы при орошении территории города грунтовые воды будут способствовать повышению засолённости грунтов и повышать их агрессивность по отношению фундаментов и подземных инженерных коммуникаций.

Анализ карты показывает, что грунты города до глубины грунтовых вод по действию к бетонам приготовленным на основе на портландцементе по ГОСТ 10178-Х5\*. являются в основном средне и сильно агрессивными. Наряду с этим с применением ГИС технологий были построены вертикальные литологические срезы территории Нукуса. Эти срезы позволять более эффективно проектировать новую дренажную систему города и осуществлять реконструкцию существующей дренажной системы.

Анализ карт показывает, что наиболее засоленными и агрессивными свойствами по действию к бетонам, приготовленных на не сульфатостойких цементах являются грунты левобережья канала «Дослык».

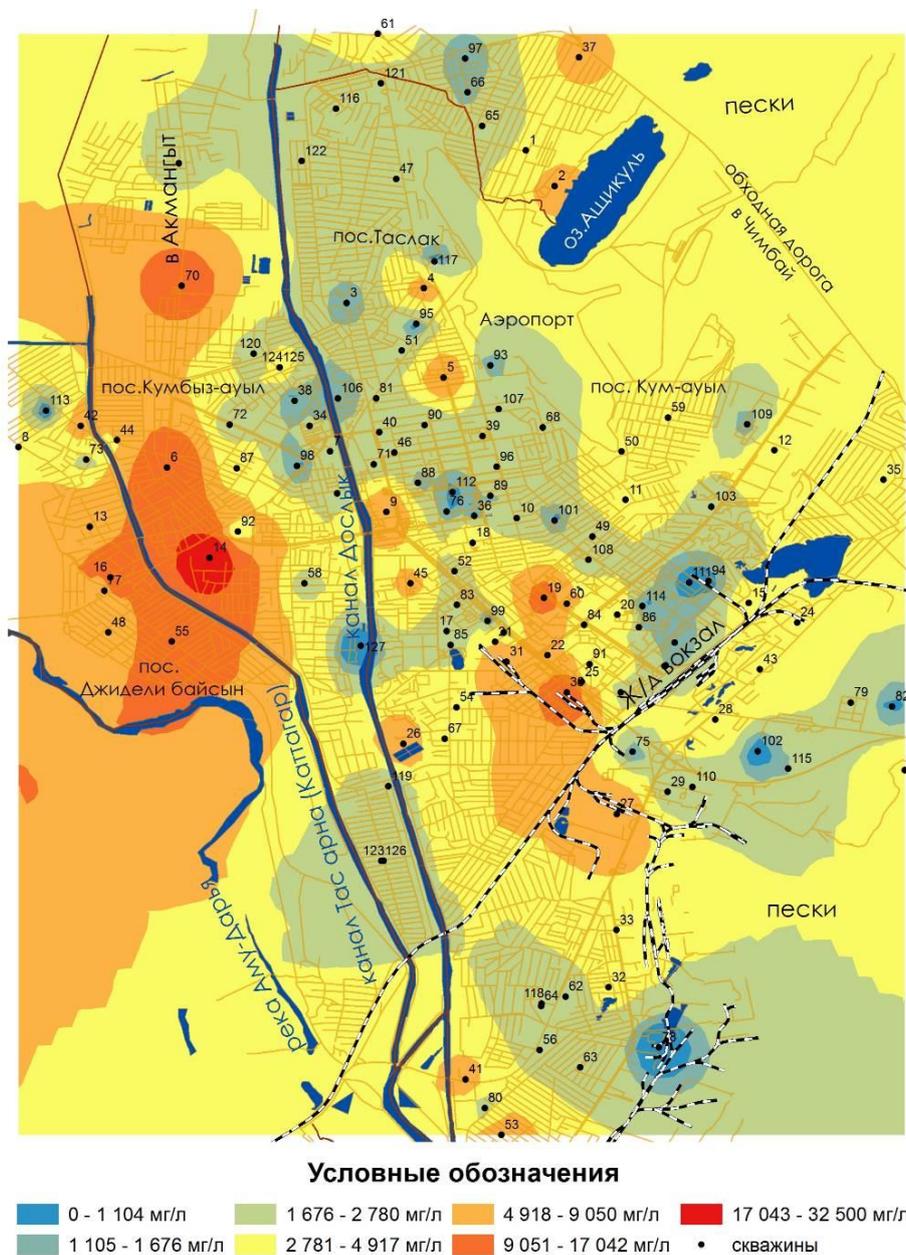


Рисунок 5. – Карта-схема засоления подземных вод г. Нукуса

**Заключение.** Для уменьшения агрессивного действия солей на подземные части зданий и сооружений в г. Нукусе необходимо осуществлять мероприятия по снижению уровня подземных вод, т.е. устраивать противофильтрационные покрытия в оросительных сетях города, магистральных каналах осуществлять ремонт, реконструкцию и проектировать новую дренажную систему для снижения уровня подземных вод. Особенно эти мероприятия необходимо проводить в наиболее засоленных территориях города. Эти мероприятия позволят увеличить долговечность зданий и сооружений города Нукуса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аимбетов И.К., Сейтнязов Ш. Некоторые инженерно-геологические исследования г. Нукуса. // Вестник Каракалпакского отделения АН РУз, №1 1998. С. 22-24.
2. Аимбетов И.К. К вопросу надежного проектирования инженерных сооружений для создания искусственных водоемов в южном Приаралье. Материалы II Международной конференции «Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства». 2016 г., 24 июня г. Тараз, Казахстан. – с. 181-184.
3. Аимбетов И.К. Инженерно-геологические основы строительства зданий и сооружений на засоленных грунтах Каракалпакстана. сооружений на засоленных грунтах Каракалпакстана. Монография. Нукус, «Илим» 2020 - 288 с.
4. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. –Л.: Недра, 1985. 511 с.
5. Петрухин В.П. Строительство сооружений на засоленных грунтах.
6. Aimbetov I. K. On the question of salt management of Amudariya river delta (Aral Sea basin, Karakalpakstan), Abstract volume. The 15 the Stockholm Symposium. August 21-27, 2005. Drainage Basin Management -Hard and Soft Solutions in Regional Development - p.288-289.
7. Aimbetov I. K., Bekimbetov R.T. The investigation of Foundation Displacements of Nukus City (Uzbekistan) buildings. International of Science and Research (IJSR), Volume 9 Issue 7, July 2020, p.504-507.
8. Agudo E., Mees F., Jacobs P., Rodriguez-Navarro C. The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulphates // Environmental geology. - 2007. - № 52. - P. 269-281.
9. Alonso E.E., Olivella S. Modelling tunnel performance in expansive gypsum claystone // In International association for computer methods and advances in geomechanics (IACMAG). - 2008. - p. 891-910.
10. Angeli M., Bigas J.P., Benavente D., Menéndez B., Hébert R., David C. Salt crystallization in pores: quantification and estimation of damage // Environmental geology. - 2007. - № 52. - P. 205-213.
11. Cosenza P.H., Ghoreychi M., Bazargan-Sabet B., de Marsily G. In situ rock salt permeability measurement for long term safety assessment of storage // International Journal Rock Mechanics and mineral Sciences. - 1999. - № 36(4). - P. 509-526.
12. Johanson O., Aimbetov I.K., Jerker J. Variation of groundwater salinity in partially irrigated Amudarya river delta, Uzbekistan // Journal of Marine systems. - 2009. - Vol. 76. Issue 3. - P. 287-295.
13. Li Y.P., Yang C.H., Qian Q.H., Wei D.H., Qu D.A. Experimental research on deformation and failure characteristics of laminated salt rock // In Proceedings of the 6th conference on the mechanical behavior of salt «SALTMECH6 – the mechanical behavior of salt-understanding of THMC processes in salt». – Hannover. - 2007. - P. 69-74.
14. Liang W.G., Yang C.H., Zhao Y.S., Dusseault M.B., Liu J. Experimental investigation of mechanical properties of bedded salt rock // International Journal Rock Mechanics. Mineral Science. - 2007. - № 44(3). - P. 400-411.
15. Min Li, Shouhi Chai, Hongpu Du, Cnen Wang. Effect of chlorine salt on the physical and mechanical properties of inshore saline soil treated with lime. The Japanese Geotechnical Society. // Soils and Foundation 2016; 56(3)6 p. 327-335.
16. Naeiny S.A., Jahanger M.A., Monshi A. Mechanisms Controlling the Undrained Strength Behavior of Landfill Liner Clay // Proceeding of the 5th International Symposium on deformation characteristics of geomaterials is Seoul. - Seul. - 2011. - Vol. 1. - P. 500-505.
17. Schulze T., Popp H.K. Development of damage and permeability in deforming rock salt // Engineering Geology. - 2001. - № 61(2/3). - P. 163-180.
18. Yang C.H., Li Y.P., Chen F., Shi X.L., Qu D.A. Advances in researches of the mechanical behaviors of deep bedded salt rocks in China // In Proceedings of the 43<sup>rd</sup> U.S. rock mechanics symposium and 4th U.S.–Canada rock mechanics symposium. - Asheville. - 2009. - P. 450-455.

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

УДК 694

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК С ГИБРИДНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

А.И. Гиль<sup>1</sup>, Е.Д. Лазовский<sup>2</sup>

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: [a.hil@psu.by](mailto:a.hil@psu.by)<sup>1</sup>, [y.lazouski@psu.by](mailto:y.lazouski@psu.by)<sup>2</sup>

*В статье приведено обоснование и перспективы применения неметаллической композитной стержневой арматуры на основе стеклянных волокон без предварительного напряжения в составе комбинированного (гибридного) армирования совместно со стальными стержнями. Реализовано применения данного вида армирования в растянутой зоне опорного сечения статически неопределимых железобетонных балок. Приведены результаты экспериментальных исследований образцов двухпролетных неразрезных балок. Описан характер трещинообразования и разрушения опытных образцов.*

**Ключевые слова:** композитная стеклопластиковая арматура, комбинированное армирование неразрезные железобетонные балки, трещинообразование.

STRESS-STRAIN STATE OF STATICALLY INDETERMINATE BEAMS WITH HYBRID REINFORCEMENT

A. Hil<sup>1</sup>, E. Lazowski<sup>2</sup>

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: [a.hil@psu.by](mailto:a.hil@psu.by)<sup>1</sup>, [y.lazowski@psu.by](mailto:y.lazowski@psu.by)<sup>2</sup>

*The article presents the rationale and prospects for the use of non-metallic composite rod reinforcement based on glass fibers without prestressing as part of combined (hybrid) reinforcement together with steel rods. The application of this type of reinforcement in the stretched zone of the support section of statically indeterminate reinforced concrete beams is realized. The results of experimental studies of samples of two-span continuous beams are presented. The nature of crack formation and destruction of experimental samples is described.*

**Keywords:** composite fiberglass reinforcement, combined reinforcement continuous reinforced concrete beams, cracking.

В настоящее время как в мире, так и в Республике Беларусь все большее применение находит неметаллическая композитная арматура. Композитная арматура (международное обозначение FRPC – fiber reinforced polymer composite (англ. полимерный композит, армированный волокном) представляет собой гетерогенную систему, включающую в себя армирующее высокопрочное волокно на основе стекла, арамида, углерода, базальта, составляющего основу композита и определяющего его прочностные и деформационные характеристики, и пластиковую матрицу, функция которой связь волокон между собой, защита поверхности стержня от внешних воз-

действий при транспортировке, монтаже и эксплуатации, а также передача внутренних усилий на волокно. Наиболее распространенная неметаллическая композитная арматура стеклопластиковая обладает рядом положительных качеств: высокая прочность при растяжении, не подвержена коррозии, имеет малый удельный вес. Однако, наряду с преимуществами существует ряд недостатков, не позволяющих широко внедрять такой вид армирования – низкая огнестойкость, относительно высокая стоимость, и, главный ее недостаток, низкий модуль упругости по сравнению со стальной традиционной арматурой. Отмечено, что сегодня применение неметаллических композитных стержней в качестве рабочей растянутой арматуры в железобетонных изгибаемых конструкциях возможно только в предварительно напряженных конструкциях [1-3].

Одним из решений данной проблемы является применение гибридного либо комбинированного армирования – расположение в растянутой зоне изгибаемого железобетонного элемента наряду с композитными стержнями некоторого количества металлической стержневой арматуры. Согласно результатам экспериментальных исследований [4], при применении такого вида армирования в растянутой зоне изгибаемых железобетонных балок, была получена пластическая форма разрушения образцов, а в их работе выделялась более протяженная стадия пластического деформирования, чем в аналогах с эквивалентным (по предельному растягивающему усилию) металлическим армированием.

Результаты данных исследований [4] позволили эффективно применить неметаллическую композитную стержневую арматуру на основе стеклянных волокон в изгибаемых железобетонных элементах без предварительного напряжения и предположить, что комбинированное армирование может иметь наиболее полезный эффект при применении в растянутой зоне сечений на промежуточных опорах статически неопределимых железобетонных балок, где, за счет более протяженной стадии пластического деформирования, будет происходить более рациональное перераспределение усилий между пролетными и опорными зонами элемента. Для подтверждения данной идеи были изготовлены экспериментальные образцы балок и разработана методика проведения испытаний [5].

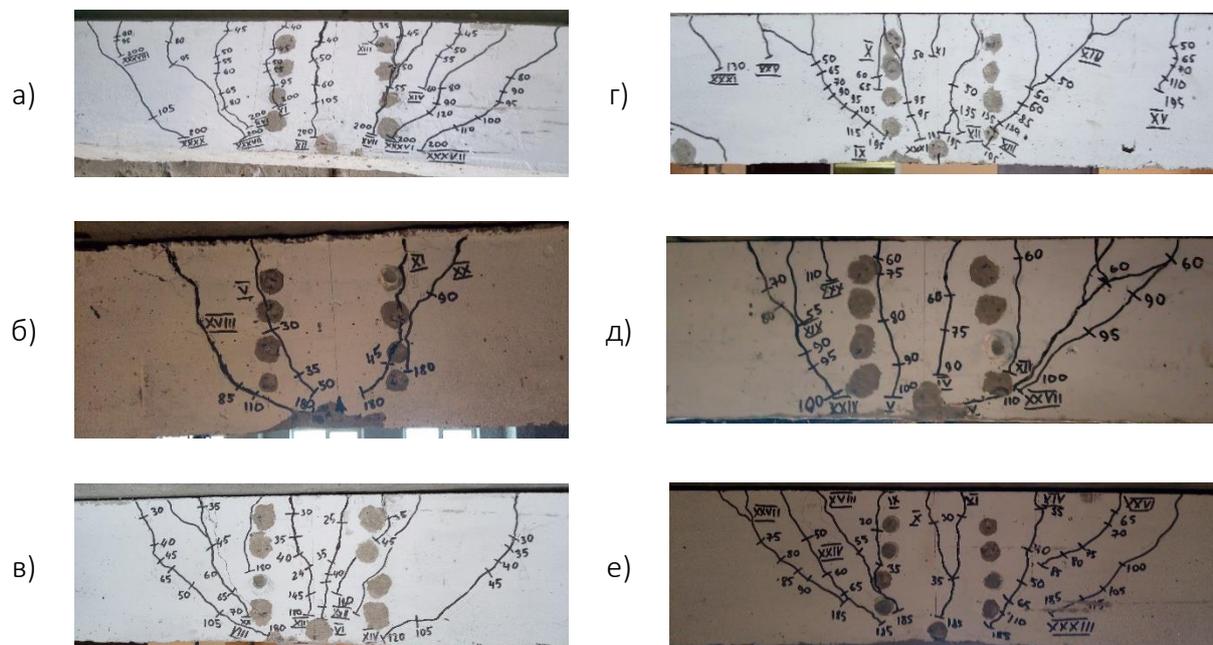
По результатам экспериментальных исследований были сделаны первые выводы о характере работы и разрушении статически неопределимых железобетонных двухпролётных балок с комбинированным (гибридным) армированием стеклопластиковыми и металлическими стержнями растянутой зоны опорного сечения.

Характер трещинообразования образцов балок при поэтапном нагружении внешней нагрузкой проявляется появлением трещин нормального отрыва в центральных опорных сечениях (либо практически одновременно в пролетных сечениях в зоне чистого изгиба) при нагрузке составляющей 10-15% (Б1Э, Б2Э, Б3, Б6) и 24% от разрушающей (Б4, Б5), что соответствовало значениям внутреннего изгибающего момента близкому к моменту трещинообразования каждой из балок, при дальнейшем увеличении нагрузки (на 5% от разрушающей) трещины нормального отрыва образовывались в пролетных сечениях в зоне максимального действия изгибающего момента.

Трещины нормального отрыва в опорном сечении образовывались по оси центральной опоры и справа и слева от центральной трещины практически одновременно. С увеличением нагрузки трещины пролетном и опорном сечении развивались, происходило появление новых трещин. Расстояние между трещинами в пролетных сечениях у образцов балок Б1Э, Б3-Б6 были близкие по величине и составляли 100...120мм. Расстояние между трещинами в образце Б2Э составили 180...200мм.

Характер развития трещин в опытных образцах различался. В балках Б3, Б4, Б5 все трещины в опорном сечении образовались одновременно при нагрузке 20-25% от разрушающей и новых трещин не образовалось. В балках Б6, Б1Э при достижении нагрузки 40% от разрушающей обра-

зовались новые трещины справа и слева от центральных трещин. В эталонной балке Б2Э первые трещины в опорном сечении образовались при нагрузке 20% от разрушающей, при достижении уровня загрузки в 40% от разрушающей нагрузки образовались новые трещины. Отмечено, что в балке Б2Э в опорной зоне образовалось всего 4 трещины, в остальных опытных образцах в опорной зоне образовалось 8-10 трещин. Картина трещин центрального опорного сечения представлена на рисунке 1.



а – Б1Э; б – Б2Э; в – Б3; г – Б4; д – Б5; е – Б6

Рисунок 1. – Картина трещинообразования зоны центрального опорного сечения образцов балок

При дальнейшем нагружении во всех образцах в пролетных сечениях образовывались критические трещины нормального отрыва, которые развивались и достигали сжатой зоны опытного образца, и, в итоге, происходило пластическое разрушение образца.

Все образцы показали близкую по характеру работу при разрушении. Разрушение балок происходило в пролетном сечении в зоне чистого изгиба, независимо от количества гибридного армирования в растянутой зоне опорного сечения, при достаточно близком значении предельного изгибающего момента. При этом, следует обратить внимание на обстоятельство, что при достаточно близком значении опорного изгибающего момента (за исключением образца балки Б2Э с полностью композитным армированием растянутой зоны опорного сечения) балки с гибридным армированием Б3, Б4, Б5, Б6 (с процентом композитной арматуры в составе гибридного армирования 0,175, 0,29, 0,41 и 0,58% соответственно) имели более протяженную стадию пластического деформирования, чем балка с полностью металлическим армированием Б1Э.

В работе исследуемых образцов балок можно выделить несколько основных этапов:

- 1-ый этап: работа системы без образования трещин, соответствующая работе при малых нагрузках до достижения предельных значений изгибающего момента трещинообразования в опорном или пролетном сечении. Увеличение изгибающих моментов на центральной опоре и в пролете проходит равномерно, практически линейно;

- 2-ой этап: работа системы после образования трещин. В процессе нагружения образцов балок первые нормальные трещины, как правило, образуются в растянутой зоне центрального

опорного сечения в зоне действия максимального изгибающего момента, а затем (либо практически одновременно) в пролетном сечении в зоне чистого изгиба. После образования первых трещин при последующем нагружении увеличение опорного изгибающего момента замедляется, при этом развитие пролетного момента практически не изменяется;

– 3-ий этап характеризуется работой системы с сечениями, в которых гибридная арматура достигла неупругих деформаций (образование пластического шарнира). В процессе и после образования пластического шарнира над центральной опорой, образование которого обусловлено достижением текучести стальной составляющей гибридного армирования, происходит перераспределение усилий с увеличением пролетного момента и замедлением возрастания надопорного момента, что отчетливо наблюдается в образцах балках Б4-Б6. Данный этап заканчивается исчерпанием несущей способности системы, при этом достижение текучести стальной арматуры и количество гибридного армирования существенно меняет характер работы статически неопределимых балок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. fib 2005 "FRP Reinforcement for reinforced concrete structures", Task Group 9.3 (Fiber-Reinforced Polymer) Reinforcement for Concrete Structures, Lausanne, Switzerland, 2005 –173p.
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. 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.
5. Гиль, А. И. Методика экспериментальных исследований неразрезных железобетонных балок с гибридным армированием растянутой зоны центрального опорного сечения / А. И. Гиль, Е. Д. Лазовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 16. – С. 59-64.

УДК 624.04: 539.3

## К ВОПРОСУ О КРИТЕРИИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ

*Л.С. Турищев*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь  
email: [l.turichev@psu.by](mailto:l.turichev@psu.by)

*Рассматривается возможность единой математической формулировки задач упруго-пластической потери устойчивости согласно двум подходам: Энгессера-Кармана и Шенли. Рассуждения проводятся для модели стержня. Процесс деформирования систем за пределом упругости считается квазистатическим. Материал деформируемых элементов характеризуется билинейной диаграммой зависимости между напряжениями и деформациями. Показано, что критические нагрузки для двух подходов определяются согласно единому аналитическому критерию. Таким критерием является условие ветвления решений некоторой системы уравнений, характеризующих условия равновесия и отпорность стержневой системы отклонениям от исходной формы равновесия. Сделан анализ зависимости критической нагрузки от отпорности системы.*

**Ключевые слова:** потеря устойчивости, критическая нагрузка, подход Энгессера-Кармана, подход Шенли, билинейная диаграмма, ветвление решений.

## TO THE QUESTION OF THE CRITERIA OF ELASTIC-PLASTIC BUCKLING

*L. Turichev*

Polotsk State University, Republic of Belarus  
email: [l.turichev@psu.by](mailto:l.turichev@psu.by)

*We consider the possibility of a unified mathematical formulation of the problems of elastic - plastic buckling according to two approaches: Engesser-Karman and Schenley. The reasoning is carried out for the rod model. The process of deformation of systems beyond the elastic limit is considered quasi-static. The material of deformable elements is characterized by a bilinear diagram of the relationship between stresses and strains. It is shown that the critical loads for the two approaches are determined according to a single analytical criterion. Such a criterion is the condition for branching solutions of a system of equations that characterize the equilibrium conditions and the resistance of the rod system to deviations from the initial form of equilibrium. The analysis of the dependence of the critical load on the resistance of the system is made.*

**Keywords:** loss of stability, critical load, the Engesser-Karman approach, Schenley's approach, bilinear diagram, branching solutions.

При решении задач упруго-пластической устойчивости с использованием разветвленческого критерия известны два подхода: Энгессера-Кармана [1] и Шенли [2]. Часто считается, что указанные подходы приводят к различным постановкам задачи: в первом случае исследуется бифуркация форм равновесия при стационарной нагрузке ( $dP=0$ ), а во втором – бифуркация процесса деформирования в условиях продолжающегося нагружения ( $dP>0$ ). Кроме того, существенным затруднением при исследовании потери упруго-пластической устойчивости согласно подходу Шенли является отсутствие общих аналитических признаков достижения критического состояния в условиях продолжающегося нагружения [3].

Некоторые общие положения и идеи об особенностях применения подхода Шенли к исследованию упруго-пластической устойчивости были высказаны в [4], [5]. Представляя нагрузку

в форме степенного ряда с неопределенными коэффициентами, Л.А. Шаповаловым в [6], [7] показана возможность общего подхода при решении задач упруго-пластической потери устойчивости для стержня и кольца.

В данной работе делается попытка единого математического подхода к решению задач упруго-пластической потери устойчивости стержневых систем, отличного от изложенного в [6], [7], и получения соответствующего аналитического критерия. Рассуждения проводятся на модели сжатого консольного стержня (рисунок 1), предложенной Пановко Я.Г. [8].

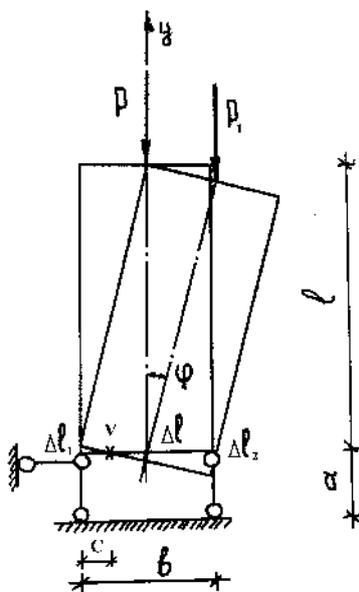


Рисунок 1. – Модель сжатого консольного стержня

Процесс деформации за пределом упругости считается квазистатическим. Материал деформируемых элементов характеризуется билинейной диаграммой зависимости между напряжениями и деформациями (рисунок 2).

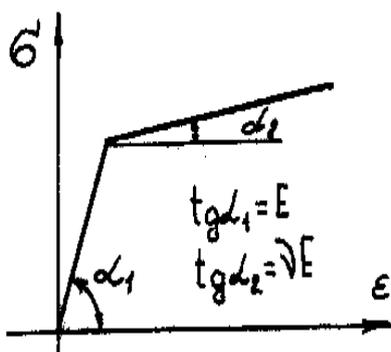


Рисунок 2. – Билинейная диаграмма зависимости между напряжениями и деформациями

Следуя [8], рассмотрим порядок определения критических нагрузок согласно подходу Энгессера-Кармана и Шенли. Для произвольного конечного отклоненного положения системы справедливы следующие уравнения равновесия

$$\begin{aligned} \sum M_c \dots - (\Delta N_1 + \Delta N_2) \frac{b}{2} + P_1 \sin \varphi &= 0 \\ \sum y \dots (-\Delta N_1 + \Delta N_2) - (P_1 - P) &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Приращения усилий в деформируемых стержнях  $\Delta N_1, \Delta N_2$  связаны с изменениями их длин соотношениями

$$\begin{aligned} \Delta N_1 &= EA \frac{\Delta l_1}{a} \\ \Delta N_2 &= \nu EA \frac{\Delta l_2}{a} \end{aligned} \quad (2)$$

Для определения изменения длин стержней справедливы формулы

$$\begin{aligned} \Delta l_1 &= \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi - \Delta l \\ \Delta l_2 &= \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi + \Delta l \end{aligned} \quad (3)$$

Смысл  $\varphi$  и  $\Delta l$  очевиден из рисунка 1.

При определении критической нагрузки по Энгессеру-Карману уравнения равновесия (1) составляют для смежного отклоненного положения системы в предположении неизменности нагрузки  $P_1=P$  ( $dP=0$ ). С учетом соотношений (2), (3) они принимают вид

$$\begin{aligned} \sum M_c \dots \frac{EA(1-\nu)}{2a} dl + \left[ Pl - \frac{EAb^2}{4a} (1-\nu) \right] d\varphi &= 0 \\ \sum y \dots (1+\nu) dl - \frac{(1-\nu)b}{a} d\varphi &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Уравнения (4) образуют однородную систему линейных алгебраических уравнений относительно двух бифуркационных величин  $d\varphi$  и  $dl$ . Из условия равенства нулю определителя системы (4) находят значение критической нагрузки  $P_{кр} = P_{**}$ , где  $P_{**} = \frac{EAb^2}{al} \frac{\nu}{1-\nu}$  - приведенно-модульная нагрузка.

Для определения критической нагрузки согласно Шенли уравнения равновесия (1) составляют при малых конечных отклонениях системы с учетом приращения нагрузки  $P_1=P+\Delta P$ , которые с учетом линеаризации относительно  $\varphi$  имеют вид

$$\begin{aligned} \sum M_c \dots \frac{EA(1-\nu)}{2a} \Delta l + \left[ Pl - \frac{EAb^2}{4a} (1-\nu) \right] \varphi + (P+\Delta P) l \varphi &= 0 \\ \sum y \dots \frac{EA(1+\nu)}{a} \Delta l - \frac{EA(1-\nu)b}{2a} \varphi - \Delta P &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Неоднородную систему уравнений (5) разрешают относительно малых, но конечных величин  $\Delta l$  и  $\varphi$ . Найденные величины подставляют в условие разгрузки одного из опорных стержней в отклоненном положении

$$\frac{\varphi b}{2} \geq \Delta l \quad (6)$$

и получают, что отклоненный процесс деформирования возможен при условии  $P \geq P_*$ .

Следовательно, критическая нагрузка  $P_{кр} = P_*$ , где  $P_* = \frac{EAb^2}{al} \frac{\nu}{2}$  - касательно-модульная нагрузка.

При таком определении критической нагрузки, соответствующей концепции Шенли, затеняется математическая сущность задачи. Чтобы показать это все дальнейшие рассуждения будем проводить в предположении бесконечной малости величин  $\Delta l$ ,  $\varphi$ ,  $\Delta P$ .

Перепишем условие разгрузки одного из опорных стержней (6) в форме

$$\frac{b}{2} \frac{d\varphi}{dl} \geq 1 \quad (7)$$

Ввиду переменности левой части (7) это соотношение можно записать в виде равенства

$$\frac{b}{2} \frac{d\varphi}{dl} = k, \quad (8)$$

где  $k$  – некоторый переменный коэффициент геометрической природы.

Как следует из левой части (8) коэффициент  $k$  характеризует положение центра вращения (точка  $V$  на рисунке 1) при бесконечно малых отклонениях. Расстояние до точки  $V$  от левого стержня определяется по формуле

$$c = \frac{b(k-1)}{2k} \quad (9)$$

Рассматривая систему уравнений равновесия (5) совместно с условием (8), получим однородную систему трех линейных алгебраических уравнений относительно бифуркационных величин  $dl$ ,  $d\varphi$  и  $dP$  при двух неизвестных параметрах: силовом –  $P$  и геометрическом –  $k$

$$\frac{EF(1-\nu)b}{2a} dl - \left[ Pl - \frac{EF(1+\nu)b^2}{4a} \right] d\varphi = 0; \quad (10)$$

$$\frac{EF(1+\nu)}{a} dl - \frac{EF(1-\nu)b}{2a} d\varphi - dP = 0;$$

$$kdl - \frac{b}{2} d\varphi = 0. \quad (11)$$

Дальнейшее решение задачи заключается в отыскании критических значений параметра нагрузки, при которых однородная система линейных алгебраических уравнений (10), (11) имеет нетривиальные решения. Из условия равенства нулю определителя этой системы уравнений получим выражение для критической нагрузки как функцию от  $k$

$$P_{кр} = \frac{EAb^2}{al} \Phi(k, \nu) \quad (12)$$

где

$$\Phi(k, \nu) = \frac{k(1+\nu) - (1-\nu)}{4k} \quad (13)$$

Формула (12) связывает критическую нагрузку с параметром  $k$ . Безразмерная функция  $\Phi(k, \nu)$  описывает отпорность системы бесконечно малым отклонениям. Следовательно, введенный параметр  $k$  следует рассматривать как геометрическую характеристику, которая наряду с физической характеристикой  $\nu$  влияет на отпорность системы таким отклонениям. Из условия

совместности соотношения (8) с уравнениями равновесия следует, что  $k$  может изменяться в следующем интервале  $k \in [1, \infty)$ . Таким образом, формула (12) определяет плотное множество критических нагрузок.

Используя второе уравнение (10), получим

$$\frac{dP}{d\varphi} = \frac{EFb}{2a} \left[ \frac{(1+\nu)}{k} - (1-\nu) \right] \quad (14)$$

Выражение (14) можно рассматривать как начальное условие задачи, определяющее стационарность или нестационарность ветви кривой равновесных состояний в точке бифуркации. На рисунке 3 приведены графики, характеризующие критическое состояние модели стержня согласно полученным зависимостям (9), (13), (14) для случая  $\nu = 0.5$

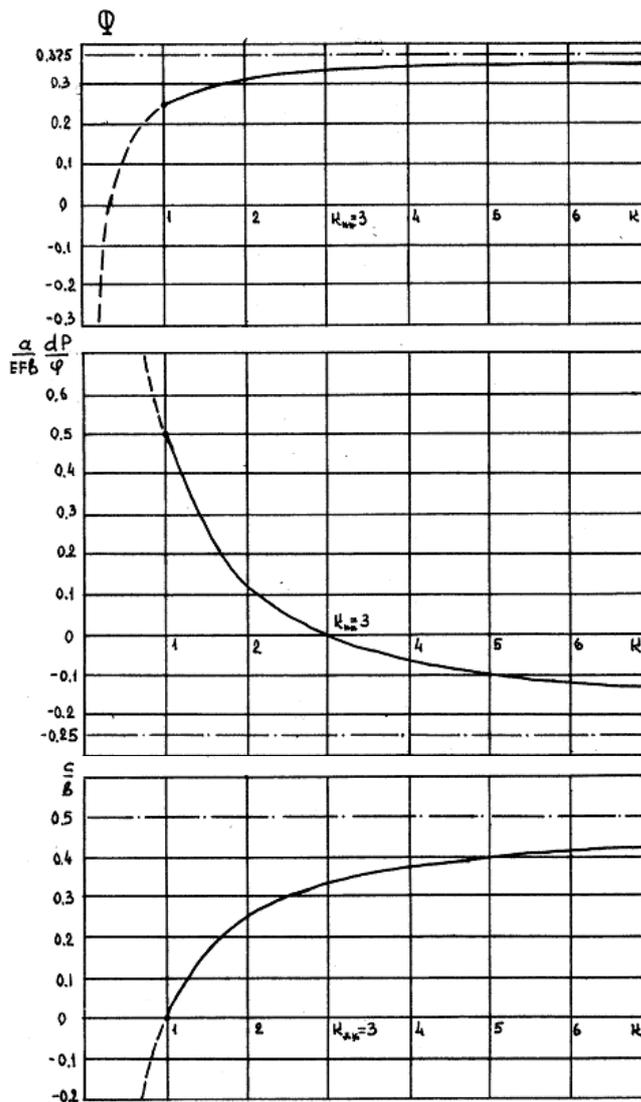


Рисунок 3. – Графики, характеризующие критическое состояние модели стержня

Из графиков, приведенных на рисунке 3, следует:

1. При  $k = 1$ , когда  $c = 0$ ,  $\frac{dP}{d\varphi} > 0$  и  $P_{кр} = P_*$ , происходит бифуркация процесса деформирования при наименьшем значении отпорности системы боковым отклонениям.

2. При  $k = k_{**} = \frac{1+\nu}{1-\nu}$ , когда  $c = c_{**} = \frac{\nu}{1+\nu}b$ ,  $\frac{dP}{d\varphi} = 0$  и  $P_{кр} = P_{**}$  происходит бифуркация форм

равновесия при значении отпорности системы  $\Phi(k_{**}, \nu) = \frac{\nu}{1+\nu}$ .

3. При всех  $k \in (1, k_{**})$ , когда  $c \in (0, c_{**})$ ,  $\frac{dP}{d\varphi} > 0$  и  $c \in (0, c_{**})$ ,  $\frac{dP}{d\varphi} > 0$  и  $P_{кр} \in (P_*, P_{**})$ ,  $P_{кр} \in (P_*, P_{**})$ ,

происходит бифуркация процесса деформирования при промежуточных значениях отпорности системы и в условиях увеличения действующей нагрузки.

4. При всех  $k \in (k_{**}, \infty)$ , когда  $c \in \left(c_{**}, \frac{b}{2}\right)$ ,  $\frac{dP}{d\varphi} < 0$  и  $P_{кр} \in \left(P_{**}, \frac{EAb^2(1+\nu)}{4al}\right)$ , происходит

бифуркация процесса деформирования при промежуточных значениях отпорности системы, но с уменьшением действующей на систему нагрузки. Такой тип бифуркации возможен для стержней, входящих в состав разгружающихся систем [9], [10].

5. Все значения  $k \in (0, 1)$  несовместны с уравнениями равновесия. Соответствующие участки показаны пунктиром.

Заметим, что если при решении задачи упруго-пластической устойчивости с использованием разветвленного критерия исходить из предположения о нестационарности внешней нагрузки ( $dP \neq 0$ ), т.е. рассматривать бифуркацию процесса, то значение  $k$  в принципе не может быть определено из основных уравнений задачи. Оно определяется характером и интенсивностью внешнего возмущения. Самому неблагоприятному случаю соответствует значение  $k=1$ .

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Задачи об упруго-пластической потере устойчивости согласно двум подходам разветвленной концепции в математическом отношении едины. Их можно формулировать как задачи на ветвление решений некоторой системы уравнений. В их число наряду с уравнениями равновесия должны включаться дополнительные уравнения, характеризующие отпорность стержневой системы отклонениям от исходной формы равновесия. Соответствующие критические нагрузки находятся из единого аналитического условия – условия ветвления решений этой системы уравнений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Karman T. Untersuchungen über Knickfestigkeit, Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, VDI, Heft 81, 1909. – P.54-62.
2. Shanley F.R. Inelastic Column Theory, Journal of the Aeronautical Sciences, vol. 14, 1947, №5. – P.88-98.
3. Кайдалов Н.Н. Качественная теория неупругой устойчивости элементов судового корпуса. – Л.: Судостроение, 1972. – 174 с.
4. Ключников В.Д. Бифуркация процесса деформирования и концепция продолжающегося нагружения // Известия АН СССР. Механика твердого тела. 1972. – №5. – С.86-94.
5. Симеонов В.С. Об устойчивости упруго-пластического стержня // Известия АН СССР. Механика твердого тела. 1972. – №5. – С.112-114.
6. Шаповалов Л.А. О бифуркации форм равновесия упруго-пластического стержня и кольца в условиях продолжающегося нагружения // Прикладная математика и механика. 1971. – Т.35, Вып. 2. – С.104-109.
7. Шаповалов Л.А. Об одной простейшей модели сжатого упруго-пластического стержня в условиях продолжающегося нагружения // Тезисы IV Всесоюзной конференции по проблемам устойчивости в строительной механике. 1972. – С.42.
8. Пановко Я.Г. О современной концепции упруго-пластического продольного изгиба // В кн. «Проблемы устойчивости в строительной механике». – М.: Стройиздат, 1965. – С.92-103.
9. Ильюшин А.А. Об упруго-пластической устойчивости конструкций, включающих стержневые элементы // Инженерный сборник. 1960. – Т.27. – С.87-91.
10. Зубчанинов В.Г. Устойчивость стержней как элементов конструкций за пределом упругости // Инженерный сборник. 1960. – Т.27. – С.101-112.

УДК 528.8

## ВИЗУАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ДЫМОВЫХ ТРУБ С ПОМОЩЬЮ КВАДРОКОПТЕРОВ

*П.М. Гламаздин, А.Д. Черненко*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

e-mail: sib.kiev@gmail.com, inman.ant@gmail.com

*Традиционно визуальное обследование дымовых труб производится альпинистами, специализирующимися на обследованиях и мелких ремонтах промышленных объектов. Однако эта практика имеет ряд недостатков, таких как высокая стоимость работ, большая длительность процесса, недостаточная конкретизация координат местонахождения повреждений и недостаточная точность определения геометрических характеристик повреждений. Предложен метод визуального обследования дымовых труб при помощи квадрокоптеров, позволяющий удешевить и ускорить процесс, а также впервые предложено применить разработанный метод «determination of color density» для обработки результатов фотосъемки поверхности стены трубы, производимой с помощью квадрокоптера.*

**Ключевые слова:** дымовые трубы, визуальное обследование, квадрокоптер, методы «graiscaile color model» и «determination of color density».

## VISUAL INSPECTION OF CHIMNEY PIPES USING QUADRO-COPTERS

*P. Glamazdin, A. Chernenko*

Kiev National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

e-mail: sib.kiev@gmail.com, [inman.ant@gmail.com](mailto:inman.ant@gmail.com)

*Traditionally, visual inspection of chimneys is carried out by alpinists who specialize in surveys and minor repairs of industrial facilities. However, this practice has a number of disadvantages, such as the high cost of work, the long duration of the process, insufficient specification of the coordinates of the location of damage, and insufficient accuracy in determining the geometric characteristics of damage. A method of visual inspection of chimneys using quadrocopters is proposed, which makes it possible to reduce the cost and speed up the process, and for the first time it is proposed to apply the "graiscaile color model" method for processing the results of photographing the surface of the chimney wall produced by a quadrocopter.*

**Keywords:** chimneys, visual inspection, quadrocopter, graiscaile color model method.

**Введение.** В котельных установках большой мощности, а также ТЭЦ и ТЭС, используются железобетонные дымовые трубы высотой до 200 метров для удаления продуктов сгорания топлива из котлов и их рассеивания в атмосферном воздухе. Для долговременной безопасной эксплуатации железобетонных дымовых труб большой высоты необходимо периодически производить их тщательное обследование, которое производится обычно в два этапа. На первом этапе производится визуальное обследование трубы, которое должно выявить имеющиеся повреждения конструкции трубы, их размеры и особенности. Определив на этом этапе места повреждений, их особенности и геометрические характеристики, можно принимать решение о необходимости использования приборных методов для определения прочностных характеристик бетона в области найденных повреждений в случае появления подозрений, что именно потеря прочностных характеристик бетона привела к появлению выявленных повреждений конструкции трубы.

Основная часть. Устоявшаяся практика предполагала использование альпинистов, специализирующихся на обследовании и мелком ремонте высотных промышленных объектов. Этот метод имеет ряд недостатков, которые заставляют искать ему альтернативы. К недостаткам этого метода необходимо отнести высокую стоимость обследования и достаточно большую длительность процесса. Кроме того, для этого метода характерна довольно низкая точность определения координат выявленных повреждений. И, наконец, сложность определения точности геометрических размеров повреждений, особенно глубины повреждений.

В качестве альтернативы этому традиционному методу обследования строительных объектов сегодня уже предлагаются новые современных методы. Например, наземное лазерное сканирование [1]. Этот метод исключает необходимость использования персонала для выполнения опасных работ на большой высоте. Он позволяет получить довольно точные координаты наружных повреждений строительных конструкций и построить 3Д модель объекта обследования, в том числе дымовой трубы. Однако и этот метод имеет недостатки, заключающиеся, во-первых, в его высокой стоимости, поскольку его реализация требует специалистов по использованию лазерных сканеров и компьютерного 3Д моделирования. Бригада для обследования обычно состоит из четырех специалистов. Во-вторых, этим методом практически невозможно получить все интересующие геометрические характеристики повреждений конструкции трубы, особенно глубины несквозных выбоин. Есть разработки по использованию тепловизоров для обследования строительных конструкций с целью выявления в них повреждений [2]. Для обследования дымовых труб этот метод особенно привлекателен, поскольку дает возможность по тепловому пятну на наружной стенке трубы определить наличие повреждений на внутренней стенке трубы. Однако этот метод требует перемещения тепловизора вдоль используемой поверхности и, кроме того, с его помощью также сложно определить глубину не сквозного повреждения. Таким образом выявляются два требования к методу обследования железобетонных дымовых труб большой высоты:

- возможность перемещаться вдоль поверхности трубы для фиксации координат повреждений;
- возможности точно определять геометрические характеристики повреждений, особенно их глубину.

Сегодняшний уровень развития техники дает возможность решить обе проблемы техническими средствами. Для перемещения приборов вдоль поверхностей трубы можно использовать квадрокоптеры. При этом можно варьировать скорость перемещения квадрокоптера и направления его движения, а также приближать его к обследуемой поверхности при необходимости. Для решения второй проблемы предлагается использовать кино и фотокамеры, а результаты фотофиксации обрабатывать специально разработанным методом «determination of color density», базирующийся на методе «graiscaile color model». Вообще метод «graiscaile color model» используется в полиграфии и в телевидении для улучшения качества изображения картинки, например, повышения яркости или четкости изображения [3].

Мы предлагаем использовать этот метод, доработанный до уровня «determination of color density», для повышения точности фиксации геометрических характеристик повреждений, особенно определения глубины повреждений. Практическая реализация этого метода предполагает наличие камеры высокого разрешения со шкалой плотности модели оттенков серого цвета (рисунок 1).

Плотность черного цвета показывает глубину повреждения (рисунок 2).

При использовании этого метода последовательность операции должна быть следующей:

1. Производится калибровка плотности шкалы оттенков серого к метрической линейке в зависимости от предполагаемой глубины дефектов и требуемой точности измерения. Пример калибровочной шкалы показан на рисунок 3.

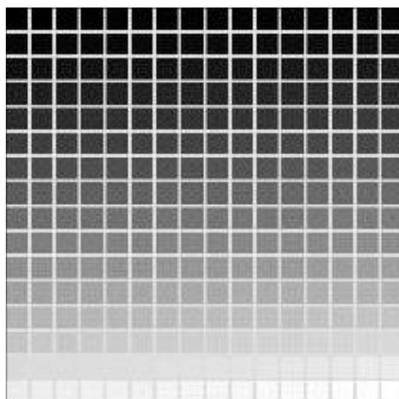


Рисунок 1. – Модель градаций серого цвета

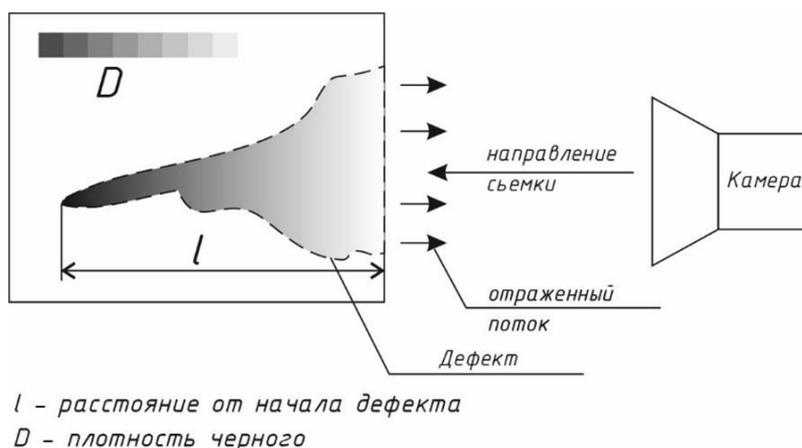


Рисунок 2. – Определение глубины повреждения по плотности черного цвета

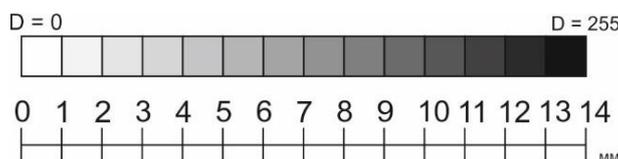


Рисунок 3. – Калибровочная шкала/линейка с шагом плотности цвета  $D=20$

2. Производится калибровка расстояния камеры квадрокоптера от объекта для получения габаритных размеров дефекта.
3. Калибруется камера в зависимости от яркости солнечного цвета на момент съемки (white point).
4. Производится съемка с определенной скоростью с так называемым «нахлестом» с четырех направлений СЮЗВ (рисунок 4.).
5. После выполнения съемки производится «сшивка» кадров трубы для получения полной картины поверхности трубы со всеми повреждениями. На рисунке 5 приведен пример такой «сшивки» для трубы высотой 100 м.
6. Производится нумерация повреждений и привязка их к общей картинке трубы (рисунок 6).
7. Производится анализ каждого повреждения и делается вывод о необходимости определения прочности бетона возле выбранных повреждений.

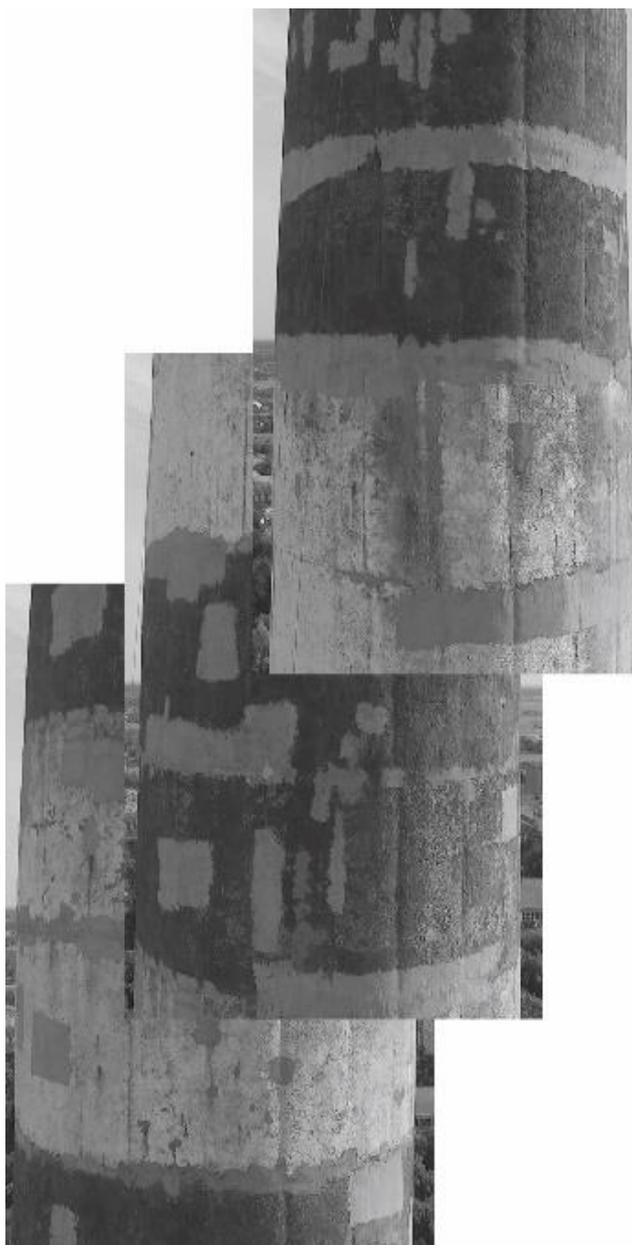


Рисунок 4. – Пример покадровой съемки тела объекта с нахлестами

**Заключение.** Опыт авторов в проведении обследования железобетонной дымовой трубы высотой 100 метров показал, во-первых, принципиальную возможность использования квадрокоптера для проведения визуального обследования трубы и фотофиксации результатов обследования и, во-вторых, показал возможность получения точных геометрических характеристик повреждений, в том числе их глубины, с помощью метода «determination of color density», что в настоящее время практически невозможно получить другими методами. Общая картинка поверхности трубы, высотой 100 метров, полученная при помощи квадрокоптера, представлена на рисунке 5. На рисунке 6 представлена методика выделения и нумерации каждого выявленного повреждения для дальнейшего анализа. Рисунок 7 иллюстрирует использование метода «determination of color density» при анализе конкретного повреждения, в частности, определения глубины повреждения.

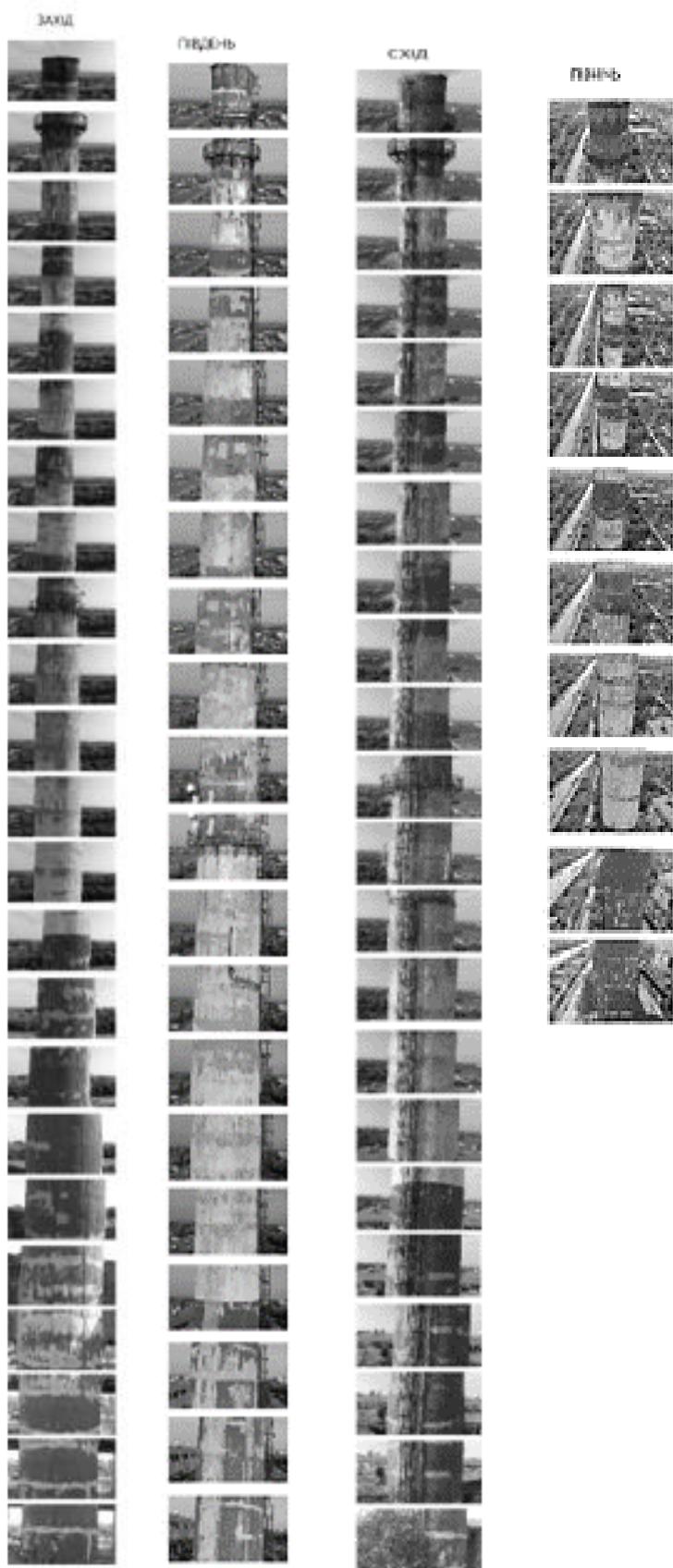


Рисунок 5. – Пример создания карты дефектов объекта

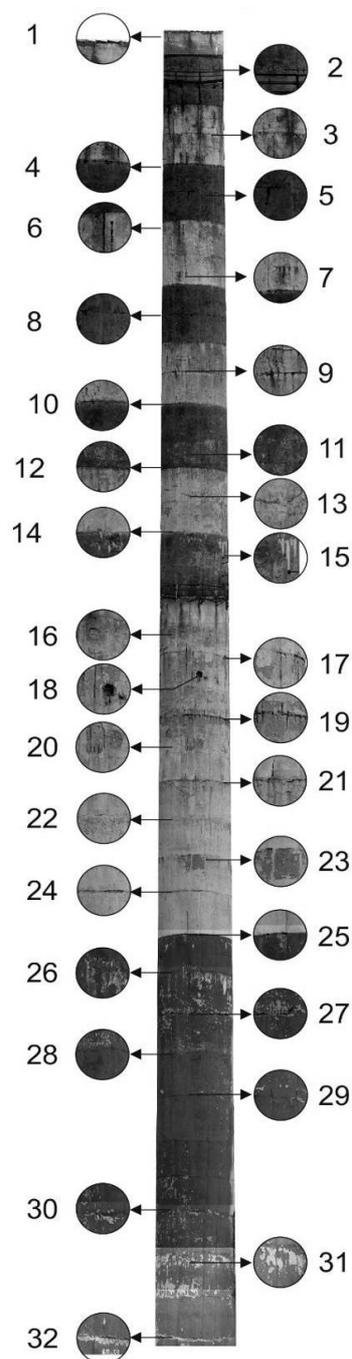


Рисунок 6. – Пример обработки результатов фотофиксации для исследования

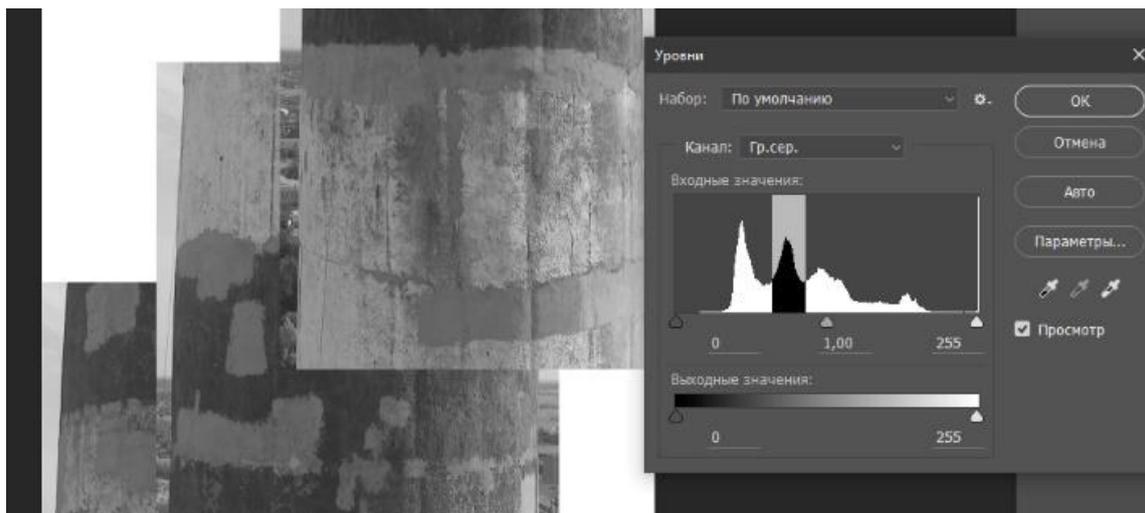


Рисунок 7. – Определение плотности черного с помощью гистограммы в модели «grayscale»

Использование квадрокоптера ограничивается при высоких скоростях ветра, а метод «determination of color density» не работает при снегопадах из-за сложностей с учетом баланса белого цвета при калибровке камеры.

Отмеченные недостатки никак не умаляют достоинства предложенного и опробованного метод визуального обследования дымовых труб, как, впрочем, и других строительных объектов больших размеров. Более того использование квадрокоптера позволяет расширить возможности обследования в область инфракрасного излучения путем использования тепловизора, что дает возможность выявить повреждения на внутренней стене дымовой трубы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бунева И.А., Безверхова Ю.А., Шевченков Г.Г, Гура Д.А. Об использовании наземного лазерного сканирования для получения фасадных чертежей исследуемых зданий и строений. Научные трубы КубГТУ, №11, 2016, с. 89-95.
2. Моргунов К.П., Кардаков А.А. Оценка технического состояния камеры шлюза по тепловому состоянию его элементов. Журнал университета водных коммуникаций. Выпуск 1, с.22-28.
3. Christopher Kanan, Garrison W.Cottrell, Color – to - Grayscale: Does the Method Matter in image Recognition /Plos ONE/ www.plosone.org., January 2012/issue1/e29740, с.1-7.

УДК 624.012.45:620

## АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОСЕВОЙ НАГРУЗКЕ КОЛОНН, АРМИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРОЙ, С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА

М. Дуткевич<sup>1</sup>, В.В. Гринев<sup>2</sup>, Л. Мрозик<sup>1</sup>, Т. Лампарски<sup>1</sup>, Ю. Гаевски<sup>1</sup>, Б. Пломиньски<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Университет науки и техники г. Быдгощ, Польша  
e-mail: <sup>1</sup> macdut@utp.edu.pl, <sup>2</sup> vgv2222@mail.by

Представлены расчетно-экспериментальные исследования первой серии колонн, с повышенной гибкостью, армированных классами арматуры B500B и B600B. Получены новые результаты прочности колонн, характер и причины их разрушения. Предварительные расчеты по существующим нормам, показали существенную разницу по сравнению с фактической прочностью колонн. Результаты исследований позволят шире использовать арматуру класса B600B при проектировании строительных конструкций, где из-за стесненности необходимо использовать меньшие диаметры. Экспериментально подтверждено увеличение прочности сжатых элементов, при использовании арматуры класса B600B, по сравнению с арматурой B500B. По выводам испытаний первой серии, будет выполнена корректировка в программе эксперимента следующих серий.

**Ключевые слова:** колонна, гибкость, пресс, прочность, армирование, B600B, B500B, бетон, деформация, сжатие, продольный изгиб.

## ANALYSIS OF THE AXIAL LOAD RESISTANCE OF COLUMNS REINFORCED WITH HIGH-STRENGTH REINFORCEMENT, TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECTS OF THE SECOND ORDER

M. Dutkiewicz<sup>1</sup>, V. Griniov<sup>2</sup>, Ł. Mrozik<sup>1</sup>, T. Lamparski<sup>1</sup>, J. Gajewski<sup>1</sup>, B. Płomiński<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Science and Technology Bydgoszcz, Poland  
e-mail: <sup>1</sup> macdut@utp.edu.pl, <sup>2</sup> vgv2222@mail.by

The paper presents the analytical and experimental studies of the first series of columns with increased flexibility, reinforced with reinforcement classes B500B and B600B. New results of the strength of columns, the nature and causes of their destruction are obtained. Preliminary calculations according to the existing standards showed a significant difference in comparison with the actual strength of the columns. The results of the research will make it possible to use the B600B class rebar more widely in the design of construction structures, where smaller diameters must be used due to tightness. An increase in the strength of the compressed elements, when using the B600B class reinforcement, compared to the B500B reinforcement, has been experimentally confirmed. According to the results of the tests of the first series, an adjustment will be made in the program of the experiment of the next series.

**Keywords:** column, flexibility, press, strength, reinforcement, B600B, B500B, concrete, deformation, compression, longitudinal bending.

**Введение.** Сжатые конструкции, прежде всего колонны, являются наиболее материалоемкими элементами железобетонных каркасов зданий и сооружений. Снижение расхода стали и уменьшение поперечных сечений в таких конструкциях возможно за счет применения высокопрочных сортов стали и высокопрочных бетонов.

Сжатые железобетонные элементы из-за достаточно больших размеров поперечного сечения редко теряют устойчивость. Обычно их несущая способность определяется прочностью нормальных сечений. Однако гибкость может заметно снизить эту прочность [6, 7, 9] по сравнению с не гибкими элементами.

Основная особенность работы гибких колонн, в отличие от работы коротких (не гибких), состоит в том, что в стадии потери устойчивости при достижении максимальной нагрузки прочность бетона используется не полностью, благодаря чему сечения продолжают нести ниспадающую нагрузку при ускоренном развитии прогибов, деформаций и перераспределения деформаций в бетоне на высокопрочную арматуру.

Предельное сопротивление арматуры сжатию определяется меньшей из двух величин. Первой - напряжением в арматуре при деформациях, равных предельной деформации бетона и второй - величиной текучести арматуры. Для арматуры с повышенной прочностью, определяющей является первая величина.

Анализ литературных источников позволил сформировать следующие предпосылки для анализа гибких колонн, армированных высокопрочной сталью:

- предельные деформации армированных элементов выше, чем неармированного бетона, и зависят от степени армирования и класса стали. В материалах автора [9], при исследовании жестких центрально сжатых железобетонных элементов предельные деформации составили (3,9‰ ... 4,0‰), в работе [12] упоминаются деформации бетона достигающие 15‰;
- при неравномерном распределении напряжений по сечению железобетонного элемента предельные деформации существенно отличаются от величин, полученных при центральном сжатии [2]. значения предельных деформаций достигали значений 3‰...7‰;
- погрешность расчета по существующим методикам расчета (метод номинальной жесткости и метод номинальной кривизны) по сравнению с экспериментом, составляет 33 % до 8 % [8]. В работах [4, 5] описаны недостатки вышеперечисленных методов и рекомендации по их устранению.

С целью определения несущей способности и эффективности использования продольной высокопрочной арматуры класса В600В в сочетании с поперечными хомутами в испытательной лаборатории университета проведены экспериментально - теоретические исследования опытных образцов - колонн. Правомочность использования арматуры класса В600В в качестве армирования подтверждается п. 3.2.2 [1].

Варьировались: процент армирования, класс арматуры и прочность бетона. Опытные образцы разделены на две серии, отличающиеся прочностью бетона.

Цель работы: выполнить расчетно-экспериментальные исследований сжатых железобетонных колонн с продольной ненапрягаемой арматурой классов В500В и В600В в сочетании с поперечным армированием.

В соответствии с указанной целью решались следующие задачи при испытании первой серии колонн:

- исследовать влияние высокопрочной продольной арматуры на прочностные и деформативные свойства конструкций;
- влияние процента продольного армирования на прочностные, деформативные свойства конструкций, а также на характер разрушения.

**Основная часть.** *Конструкции опытных образцов и объем испытаний.* Экспериментальные исследования проводились на образцах с различным процентом продольного армирования, с максимально возможным приближением к элементам натуральных конструкций по: размерам сечений; схемам армирования; составу бетона; технологии приготовления. Опытные образцы

(рисунок 1) имели квадратную форму поперечного сечения 200x200 и высоту 3000 мм. Изготавливались из тяжелого бетона прочностью  $f_{cm} \approx 43$  МПа, на гранитном щебне и кварцевом песке. Армировались симметрично продольными стержнями диаметрами: 10 мм, 16 мм и 25 мм из стали класса В500В и В600В. Поперечная арматура по всей длине конструкции представлена в виде хомутов из стержней диаметром 8 мм, расположенных с шагом 200 мм. Торцевые участки образцов первой серии не усиливались. Продольная и поперечная арматура объединялись в пространственный каркас вязальной проволокой.

Опытные образцы изготавливались в деревянных формах. Комплект оснастки позволял одновременно формировать по шесть образцов колонн, параллельно основным образцам изготавливались контрольные бетонные образцы - призмы.

Укладка бетонной смеси, приготовленной на бетоносмесительном узле, в формы осуществлялась послойно с уплотнением и вибрированием. Твердение бетона происходило при атмосферном давлении. Все изготовленные образцы хранились более 30 суток в помещении лаборатории при температуре не ниже 15°C и влажностью 60...75%. Прочность бетона определялась испытанием на центральное сжатие контрольных призм по общепринятой методике кратковременного нагружения в сроки, совпадающие со сроками испытаний основных опытных образцов железобетонных конструкций.



Рисунок 1. – Изготовление опытных образцов

Общее количество основных опытных образцов (18x2=36 шт.) распределено по двум сериям, отличающихся прочностью бетона.

В первую серию входит 18 колонн, которые разбиты на три группы с соответствующие проценту продольного армирования (0,785 %; 2,009 % и 4,906 %). В каждой группе по три колонны с арматурой В600В и три с В500В. Результаты эксперимента дублировались испытанием трех близнецов. Шифры образцов в первой серии приведены в таблице 1, характеристика арматуры приведена в таблице 2.

Таблица 1. – Основные характеристики испытанных колонн

№	Колонна	Армирование	Прочность бетона $f_{cm}$ , (МПа)	Усилия разрушения, $N_{exp}$ , (кН)	Расчетные усилия разрушения, $NE_d$ , (кН)	Погрешность, %	Характер разрушения колонны
1	S1.1	4Ø10 В600В	44,0	1470	1928	31	В средней части высоты, идентично изгибаемым элементам
2	S1.2			1540	1916	24	В верхней четверти высоты
3	S1.3			1560	1951	25	Нижний опорный участок

## Окончание таблицы 1

	1	2	3	4	5	6	7
4	S2.1	4Ø10 B500B	44,0	1250	1924	54	Нижний опорный участок
5	S2.2			1300	1885	45	Нижний опорный участок
6	S2.3			1400	1888	35	В средней части высоты, идентично изгибаемым элементам
7	S3.1	4Ø16 B600B	43	1550	2232	44	В средней части высоты, идентично изгибаемым элементам
8	S3.2			1620	2232	38	Верхний опорный участок
9	S3.3			1710	2232	31	Нижний опорный участок
1	S4.1	4Ø16 B500B	43	1350	2154	60	Нижний опорный участок
11	S4.2			1400	2154	54	Верхний опорный участок
12	S4.3			1520	2154	42	Верхний опорный участок
13	S5.1	4Ø25 B600B	44	2050	2968	45	Нижний опорный участок
14	S5.2			2100	2968	41	Верхний опорный участок
15	S5.3			2060	2968	44	Верхний опорный участок
16	S6.1	4Ø25 B500B	44	1610	2779	73	Нижний опорный участок
17	S6.2			1600	2779	74	Нижний опорный участок
18	S6.3			1800	2779	54	Нижний опорный участок

Таблица 2. – Основные качественные характеристики арматурной стали

Класс арматурной стали	B500	B600
Класс пластичности	B	B
Марка арматурной стали	B500B	B600B
Предел текучести $\sigma_T$ не менее, МПа.	500	600
Соотношение $\sigma_B/\sigma_T$ не менее	1,08	1,08
Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке не менее %	5,0	5,0

*Методика испытаний.* Испытания конструкций проводились в гидравлическом прессе DRMB 600, рисунок 2. Схема загрузки предусматривала создание условий работы конструкций как стоек с шарнирным опиранием, с одинаковым направлением продольной силы.

В процессе испытаний конструкций проводились измерения: выгиба боковых граней, усилий трещинообразования, ширины раскрытия трещин, несущей способности.

При исследованиях выгиба использованы индикаторные тензометры с ценой деления 0,01 мм.

Усилие трещинообразования фиксировалось по шкале прессы в момент образования первых трещин. Ширина раскрытия трещин измерялась на уровне наиболее растянутой арматуры при помощи микроскопа с точностью 0,05 мм.

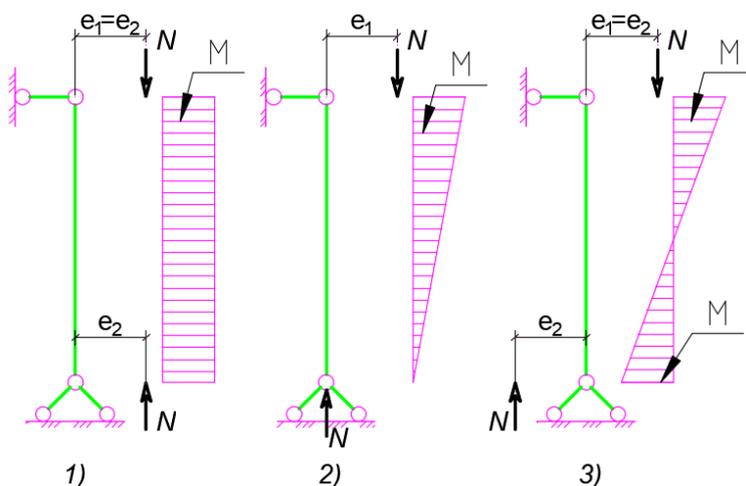
Нагружение проводилось при кратковременном режиме ступенчатого увеличения нагрузки на 10% от расчетной с выдержкой на постоянном уровне каждой ступени в течении 12...15 минут. В стадиях, предшествующих исчерпанию несущей способности, размер ступени нагружения уменьшался до 5%. Отсчеты по измерительным приборам регистрировались до и после приложения очередной ступени нагрузки. Измерения выгибов проводились до нагрузок, соответствующих 50% предельной несущей способности конструкций.

*Характер разрушения и прочность опытных образцов.* Анализ внешних качественных признаков состояния конструкций в стадиях, предшествующих разрушению, а также характер самого разрушения позволяют оценить влияние конструктивных факторов и судить о критериях несущей способности. Согласно работе [13] можно выделить следующие схемы приложения внешней нагрузки и соответственно характер разрушения будет различен.

Необходимо выделить основные характерные формы разрушения: разрушения от продольного изгиба (схема 1, 2 рисунка 3) и разрушения оголовков колонн на опорах (схема 3 рисунка 3).



Рисунок 2. – Общий вид испытаний



1) - основная схема; 2) - с односторонним эксцентриситетом;  
3) – схема с равнозначными равными эксцентриситетами

Рисунок 3. – Схемы загрузки продольной силой

Разрушению от продольного изгиба гибких колонн протекало плавно и обозначалось появлением трещин на растянутой поверхности и появление лещадок на поверхности бетона наиболее сжатых граней сечения. Разрушение происходило с потерей устойчивости и выпучиванием стержней арматуры сжатой зоны между поперечными хомутами, с последующим изги-

бом всей колонны. Плоскость разрушения бетона в большинстве случаев составляла угол с вертикальной осью порядка  $20^{\circ}$ ... $30^{\circ}$  и проходила обычно по ранее образовавшимся продольным трещинам.

Наиболее сжатые стержни арматуры имели такую же кривизну, как и вся конструкция. Потеря устойчивости и выпучивание этой арматуры происходило в направлении «из колонны» так как внутренние слои сжатого бетона препятствовали выпучиванию в направлении плоскости изгиба всей конструкции (рисунок 4) Растянутая арматура (менее сжатая) в момент растяжения достигала предела текучести.

Стержни теряли устойчивость в пределах среднего участка длины конструкций и между точками закрепления в местах их пересечения с хомутами. Форма искривления (рисунок 5) указывает на наличие полного или частичного защемления концов стержней, т.е. свободная длина при потере устойчивости этих элементов, очевидно, меньше, чем расстояние между хомутами.

Вслед за потерей устойчивости наступало быстрое разрушение сжатой зоны сечения, при упавшей продольной нагрузке и возросшем продольным моментом. Характер разрушения схож с разрушениями изгибаемых элементов от сосредоточенной силы.

Основной причиной разрушения отдельных колонн было повреждение оголовков из-за концентраторов напряжений опорных устройств либо ассиметричной передачей сжимающего усилия (схема 3, рисунок 3). Характер разрушения таких колонн представлен на рисунках 4, 5. Результаты испытаний прочности данных колонн при анализе с расчетными значениями прочности не учитывались. В следующей серии во избежание подобных форм разрушения будут выполнены определенные мероприятия.



Рисунок 4. – Характер разрушения колонн в средней части высоты

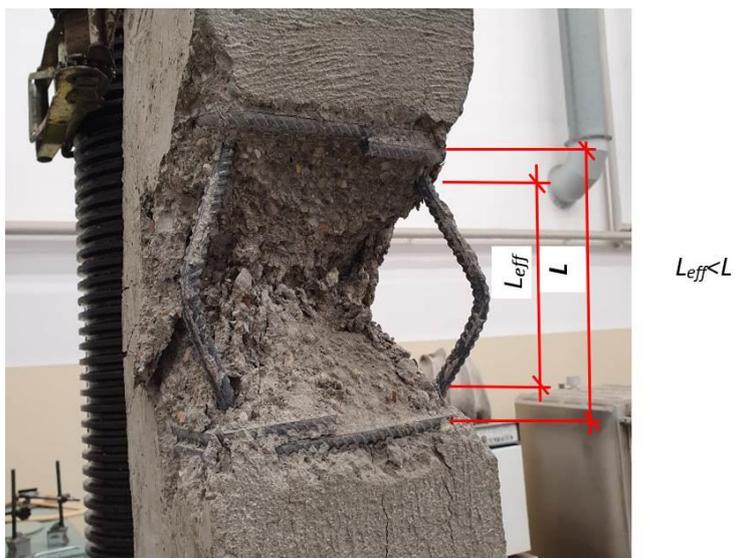


Рисунок 5. – Характер разрушения колонн в средней части высоты

Перечисленные формы разрушения, наблюдаемые в опытах, характеризуют процессы, происходящие в элементах конструкций при их разрушении, и будут учитываться при последующих испытаниях. Результаты экспериментальных значений прочности колонн представлены в таблице 1.



Рисунок 6. – Характер разрушения колонн в нижнем и в верхнем опорных участках

Результаты численных расчетов В проводимой расчетно-экспериментальной работе одной из задач было проверка отдельных методик расчета гибких колонн и сравнение их с экспериментальными данными. Для определения прочности поперечных сечений колонн с разным классом и процентом армирования строились зависимости  $MRd - NRd$ , (рисунок 7), используя

специальное программное обеспечение [10]. Указанные графики очерчивают прочностные границы колонн и позволяют анализировать факторы, повлекшие разрушение. Необходимо отметить, что результаты испытаний всех колонн первой серии находятся в соответствующих областях. Данные зависимости позволяют с относительной точностью определять какой был момент при максимальной сжимающей силе и наоборот.

Прочностной расчет выполнялся согласно документу [1] п. 5.8.8 по номинальной кривизне, следует отметить, что расчет по номинальной жесткости (п. 5.8.7), рекомендуемый этим же документом, в строительных нормах Германии отсутствует [14].

Результаты расчета сведены в таблице 1, столбец 5 и отображены графически в виде гистограмм на (рисунок 8).

Сопоставление опытных и расчетных значений прочности колонн показало, что предельные усилия, полученные в результате расчетов по рекомендациям норм (при фактических показателях прочности материалов) оказались завышенными по сравнению с измеренными при испытаниях. Завышение находится в пределах 24%...74%, материалы ученых [4, 5, 8] подтверждают возможность больших погрешностей и рекомендуют совершенствовать методики расчета.

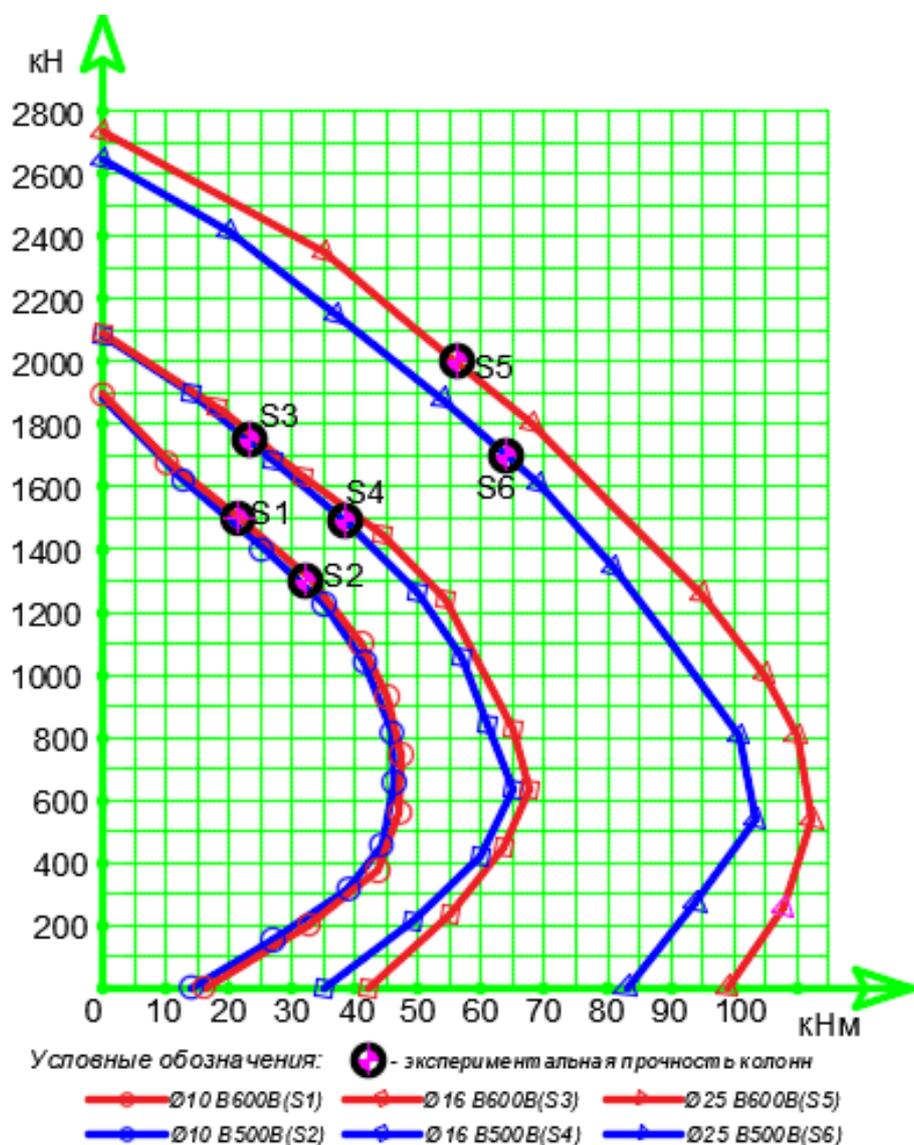


Рисунок 7. – Графическое изображение прочностных характеристик колонн

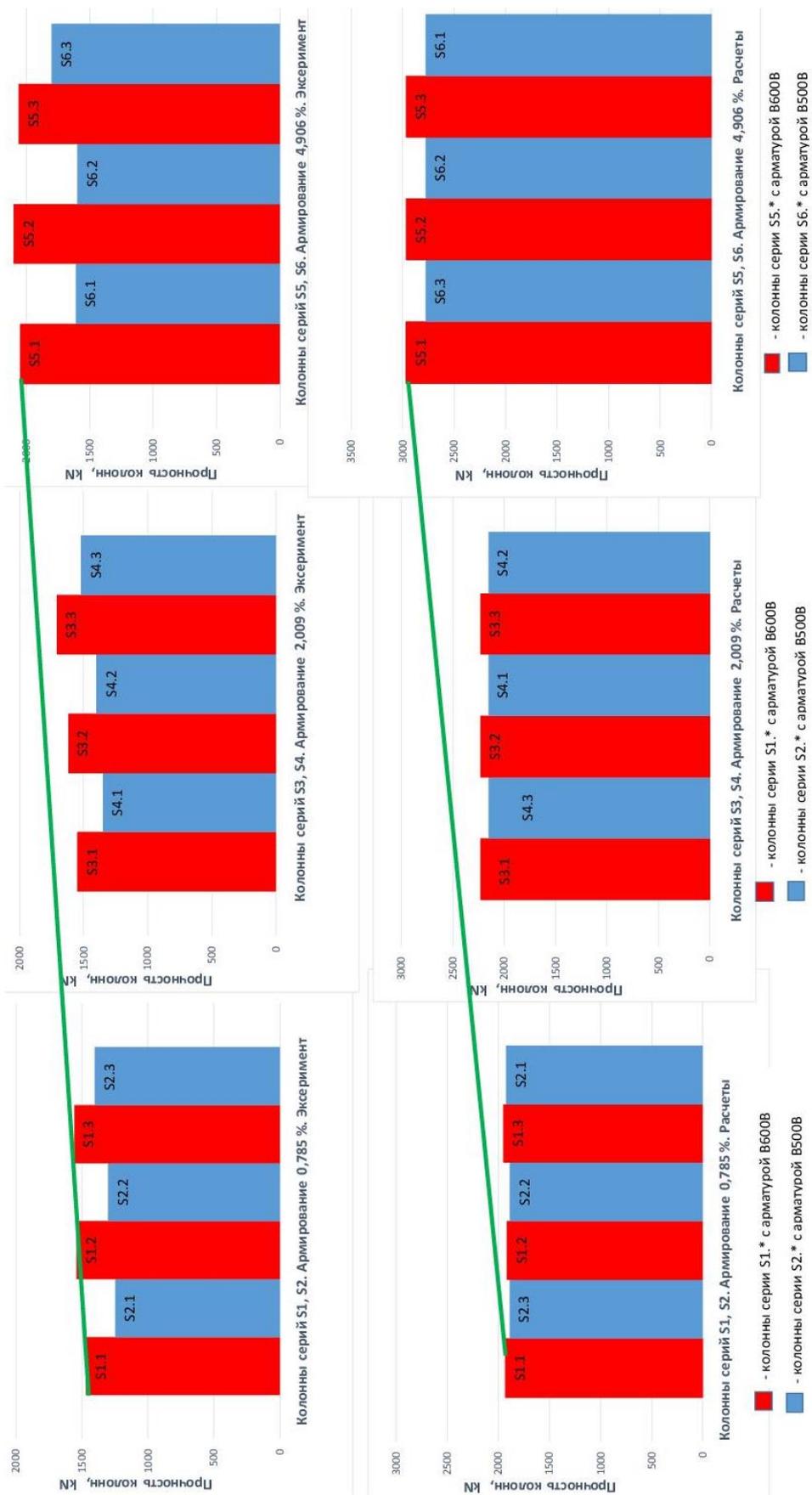


Рисунок 8. – Сравнение расчетной и экспериментальной прочности колонн с различным армированием (рост прочности)

### Выводы и рекомендации

1. Установлена эффективность использования стержневой арматуры марки В600В в гибких, сжатых железобетонных элементах. Степень использования высокопрочной стержневой арматуры на сжатие возрастает при повышении процента армирования, уменьшении высоты сжатой зоны и увеличении кривизны конструкции.

2. При испытании колонн следующих серий, планируется предусмотреть мероприятия позволяющие избежать разрушения колонн в опорных зонах, путем устройства металлических «башмаков». Данные мероприятия будут способствовать классической схеме разрушения от потери устойчивости.

3. Планируется после завершения испытаний второй серии, из неповрежденных участков колонн изготовить (нарезать) короткие элементы для испытаний на сжатие – третья серия.

4. Для определения деформаций при испытании колонн следующих серий, необходимо использовать экстензометры системы Vic-3D либо «ARAMIS» 3D Camera, совместно с механическими индикаторами деформаций.

5. Для изучения изменения структуры материала колонн на каждом этапе нагружений будут предусмотрено оборудование (акселерометры и Impact Hammer 5803), позволяющее проводить модальный анализ, так как изменение структуры материала конструкции влияет на частоты собственных колебаний.

6. Расчет колонн проводился, согласно рекомендациям п.5.8.5 [1], по одному из упрощенных методов. Фактическая прочность колонн оказалась меньше расчетной на 24%...74%. Анализ причин, вызвавших расхождение будет опубликован после завершения испытаний всех серий колонн.

«Проект со финансируется Национальным агентством академических обменов в рамках программы: «Солидарность с учеными».

### ЛИТЕРАТУРА

1. EN 1992-1-1:2004+AC:2010, IDT. Проектирование железобетонных конструкций.
2. Попков Ю. В., Семенов А. И. Предельная сжимаемость бетона и напряжение в высокопрочной стержневой арматуре при плоском и косом внецентренном сжатии // Вопросы строительства и архитектуры. - Минск, 1989. - Вып.17. - С.17-50.
3. Литье и металлургия 4 (77), 2014. Оценка качественных характеристик арматуры ненапрягаемой класса S500 по СТБ 1704-2012 в разрезе основных европейских норм. Т.А. Ахметов, Я.В. Чикишев, И.Н. Радькова, Л.В. Лактионова.
4. Шилов, А. Е. Особенности учета эффектов второго порядка при расчете сжатых железобетонных элементов по ТКП EN-1992-1-1–2009\* / А. Е. Шилов, В. В. Мезен // Инновационная подготовка инженерных кадров на основе европейских стандартов (Еврокодов) : материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 30 мая 2017 г.) / [редколлегия: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа]. - Минск : БНТУ, 2017. - С. 160-166.
5. Шилов, А. Е. Расчет гибких сжатых элементов с учетом продольного изгиба по нормам разных стран / А. Е. Шилов, Д. А. Мирный // Повышение качества подготовки студентов специальности "Промышленное и гражданское строительство" : сборник научно-технических статей (материалы научно-методического семинара), 24 мая 2011 г. - Минск : БНТУ, 2011. - С. 149-156.
6. Jostein Helleland. New and extended design moment formulations for slender columns in frames with sway. Engineering Structures 15 January 2020.
7. Аксёнов В. Н. Проектирование гибких преднапряженных железобетонных колонн из высокопрочного бетона. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ростов-на-Дону. 2009.
8. Семенов Д. С. Расчет несущей способности железобетонных колонн по деформированной схеме. Промышленное и гражданское строительство. 9/2017.

9. Босовец Ф. П., Лобанов А. Т. Исследование жестких железобетонных колонн из бетона марок 600 на центральное сжатие // Строительные конструкции. - Минск, 1976. - С.45-48.
10. Программа БЕТА 2.1. ПГУ. Пецольд Т.М., Лазовский Д.Н., Глухов Д.О.
11. Аль-Каддах Мохамад. Исследование работы высокопрочной арматуры в сжатой зоне железобетонных конструкций: Автореферат дисс. ... канд.техн.наук: 05.23.01. -М., 1994. - 20 с.
12. Кхлифи Хассан Бен Саад. Кратковременное и длительное сопротивление центрально сжатых колонн средней гибкости с различным содержанием высокопрочной продольной арматуры: Автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – М., 1998. –27с.
13. Совершенствование нормируемых методов расчета железобетонных колонн при различных схемах нагружения / Е. Л. Коршун [и др.] // Строительная наука и техника. - 2011. - № 1. - С. 59-62.
14. Frank Fingerloos, Josef Hegger, Konrad Zilch. Eurocode 2 für Deutschland. DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Teil 1-1: Allgemeine Bemessungs-regeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang. Kommentierte und konsolidierte Fassung. 2016.

УДК 624.012.4-183.4; 624.94.014.2

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПЕНОБЕТОНА ПРИ НАДСТРОЙКЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭТАЖЕЙ

А.П. Кремнев<sup>1</sup>, Е.Г. Кремнева<sup>2</sup>

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [kremnev\\_si@mail.ru](mailto:kremnev_si@mail.ru), <sup>2</sup> [e.kremneva@psu.by](mailto:e.kremneva@psu.by)

*Приведен опыт применения тонкостенного стального холоднодеформированного оцинкованного профиля (ЛСТК) при строительстве зданий каркасного типа с пенобетонным заполнением. Приведены результаты испытаний образцов плит покрытия, выполненных с применением ЛСТК и пенобетона различной плотности. В ходе испытаний было подтверждено существенное влияние пенобетонного заполнителя на несущую способность тонкостенных стальных профилей при действии изгибающих моментов.*

**Ключевые слова:** плиты покрытия, пенобетон, тонкостенный стальной холоднодеформированный профиль, совместная работа.

## EXPERIENCE OF APPLICATION OF THIN-WALLED STEEL STRUCTURES AND FOAM CONCRETE WHEN SUPPLEMENTING ADDITIONAL FLOORS

A. Kremniou<sup>1</sup>, A. Kremneva<sup>2</sup>

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [kremnev\\_si@mail.ru](mailto:kremnev_si@mail.ru), <sup>2</sup> [e.kremneva@psu.by](mailto:e.kremneva@psu.by)

*The experience of using a thin-walled steel cold-deformed galvanized profile (LSTK) in the construction of frame-type buildings with foam concrete filling is presented. The results of testing samples of coating slabs made with the use of LSTK and foam concrete of various densities are presented. During the tests, the significant effect of the foam concrete aggregate on the bearing capacity of thin-walled steel profiles under the action of bending moments was confirmed.*

**Keywords:** roof slabs, foam concrete, thin-walled steel cold-deformed profile, teamwork.

Легкие конструкции зданий каркасного типа находят все большее применение в практике строительства. При возведении малоэтажных зданий и при надстройке дополнительных мансардовых этажей применение легких конструкций и материалов позволяет существенно сократить сроки строительства, снизить трудозатраты и стоимость строительства, выполнять работы в стесненных условиях без применения тяжелой строительной техники и громоздкого грузоподъемного оборудования. Применение легких конструктивных элементов и материалов при надстройке дополнительного этажа (этажей) не приводит к существенному увеличению нагрузки на нижележащие конструкции и грунты основания, и, соответственно, позволяет избежать необходимости их усиления.

При строительстве каркасных зданий и дополнительных этажей наибольшее распространение получили легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) с оцинкованным покрытием. В качестве утеплителя при заполнении ограждающих конструкций из ЛСТК используются различные теплоизоляционные материалы в виде минераловатных плит, стекловаты, эковаты и др. [1-6]. Как показала практика строительства, каркасные дома с утеплителем на основе базальтовых волокон или стекловолна (как наиболее доступный материал) имеют ряд существенных недостатков, таких как возможность деформирования под собственным весом («слеживаемость»), хоть и незначительная, но токсичность (за счет применения фенольных смол для склеивания

волокон), высокая вероятность «заселения» утеплителя мышами и крысами. Кроме того, владельцы каркасных домов с минераловатным утеплителем часто жалуются на эффект «дрожания» всего здания при сильных порывах ветра, при ходьбе на втором этаже, резком закрытии дверей и т.п.

В настоящее время в качестве утеплителя в каркасном домостроении все чаще начинают применять легкие бетоны и, в частности, пенобетон. Пенобетон, представляет собой пористый искусственный материал на основе цементного вяжущего. Данный материал обладает прекрасными теплоизоляционными и паропроницаемыми свойствами. Коэффициент теплопроводности при плотности  $200\text{кг/м}^3$  составляет  $0,05\text{ Вт/м}^\circ\text{С}$  (почти в два раза лучше, чем у газосиликатных блоков ( $0,12\text{Вт/м}^\circ\text{С}$ ). Коэффициент паропроницаемости при плотности  $200\text{кг/м}^3$  -  $0,28\text{мг/м}\cdot\text{час}\cdot\text{Па}$ . (для газосиликатных блоков  $0,24\text{мг/м}\cdot\text{час}\cdot\text{Па}$ ). В доме с пенобетонными стенами всегда будет сухо и комфортно.

При изготовлении пенобетона используются только экологически безопасные компоненты: цемент и протеиновый пенообразователь. Они на 100% экологически безопасные и безвредные материалы. Пенобетон (как и любой материал на основе цемента) со временем только набирает прочность. Щелочная среда цементного вяжущего препятствует образованию грибка и плесени. Пенобетон не по «зубам» для крыс и мышей. За счет большей жесткости каркасные дома с пенобетоном не «дрожат» при малейшей вибрации. При этом стоимость  $1\text{м}^3$  пенобетона, уложенного в конструкцию на 20-30% дешевле, чем стоимость  $1\text{м}^3$  стен из газосиликатных блоков.

В качестве примера успешного применения легких конструкций из ЛСТК с пенобетонным заполнением можно привести опыт строительства дополнительного этажа административно-хозяйственного здания производственной базы ООО «НПФ Строитель».

В ходе обследования и проверочных расчетов несущих конструкций было установлено, что надстройка дополнительного этажа здания с применением традиционных материалов (газосиликата и железобетона) возможна только после усиления фундамента и упрочнения грунта, что было не приемлемо для заказчика. В случае применения легкого каркаса из ЛСТК с пенобетонным заполнением усиления фундаментов не требовалось.

Надстройка дополнительного этажа была выполнена силами заказчика, без привлечения сторонних организаций. Каркас из ЛСТК собирался в отдельные блоки на строительной площадке и затем монтировался краном-манипулятором. После монтажа каркаса стены с наружной стороны обшивались цементно-стружечными плитами (ЦСП), а с внутренней влагостойкими гипсокартонными листами (ГКЛ), рисунок 1. Одновременно с обшивкой внутренней стороны листами ГКЛ производилось заполнение стен пенобетоном плотностью D250-300.

Покрытие здания также было выполнено с применением ЛСТК. При этом перекрываемый пролет составлял более 7м. При таком пролете применение пенобетона в качестве утеплителя кровли не было согласовано проектировщиками, так как в этом случае возникала опасность потери устойчивости из плоскости изгиба тонкостенных балок ЛСТК. Можно предположить, что набравший проектную прочность пенобетон, уложенный между балками способен придать дополнительную жесткость конструкциям покрытия и повысить общую несущую способность металлических балок. Отсутствие методики расчета металлических балок ЛСТК совместно с пенобетоном в данном случае вынудило принять решение о применении минераловатных плит в качестве утеплителя.

С целью определения влияния пенобетона на общую несущую способность изгибаемых конструкций в Полоцком государственном университете были проведены экспериментально-теоретические исследования несущей способности монолитных плит перекрытий с применением тонкостенных стальных холоднодеформированных оцинкованных профилей с пенобетонным заполнением, [7,8].

Исследования проводились на двух образцах плит перекрытия длиной 3м, шириной 600мм и высотой 300мм, рисунок 2. По центру плиты устанавливалась С-образная металлическая балка

ЛСТК высотой 300мм с двух сторон от которой заливался пенобетон различной плотности. Плиты отличались характером заполнения пенобетоном. Плита П-I была изготовлена из пенобетона плотностью D500. Плита П-II – в верхней и нижней части выполнена из пенобетона плотностью D500, а средней части из пенобетона плотностью D200, таблица 1. Работа плит, как сплошного диска моделировалась плотной установкой на боковых гранях плит пружинных зажимов.



Рисунок 1. – Общий вид здания с каркасом второго этажа и обшивкой наружной стороны листами ЦСП

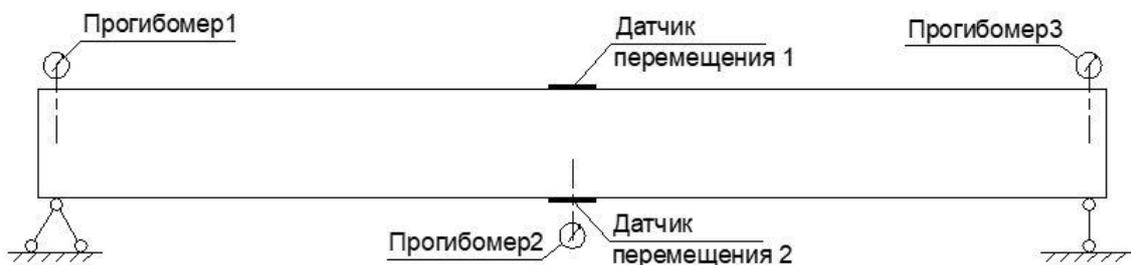


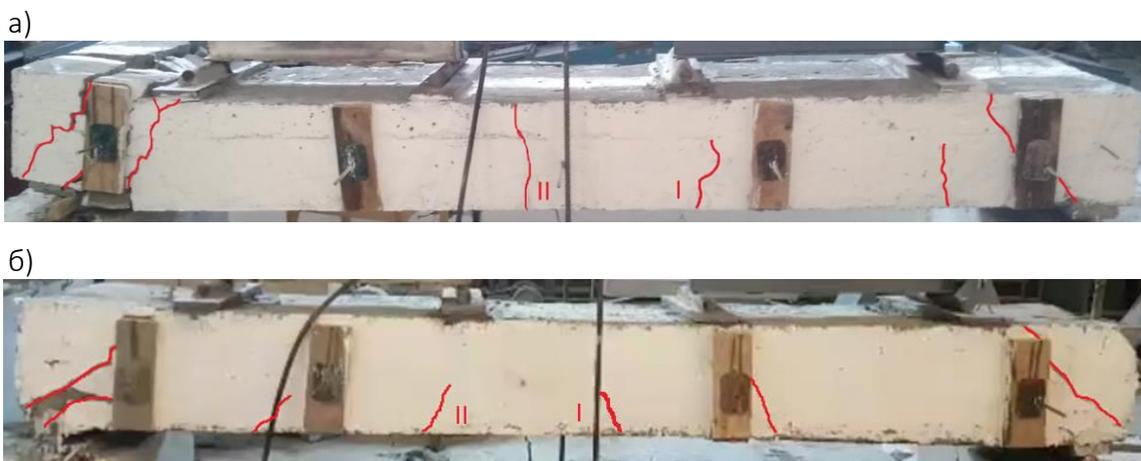
Рисунок 2. – Схема испытания образцов плит

Таблица 1. – Конструкции плит для испытаний

Конструкция	Размещение пенобетона в конструкции	Примечание
Плита П-I 300x600x3000мм		1-профиль С300 2- пенобетон D500 4- пружинный зажим 5- стяжной металлический прут d8 6- деревянная подкладка 7- датчики перемещения
Плита П-II 300x600x3000мм		1-профиль С300 2- пенобетон D500 3- пенобетон D200 4- пружинный зажим, 5- стяжной металлический прут d8 6- деревянная подкладка 7- датчики перемещения

В процессе испытания измеряли деформации сжатой и растянутой зон стальных тонкостенных профилей, прогибы конструкции, ширину раскрытия трещин [9]. Нагрузка прикладывалась в четвертях пролета плиты при помощи гидродомкратов и доводилась до полного разрушения конструкции.

Общий вид плит после испытания показан на рисунке 3.



а) плита П-I после испытания; б) плита П- II после испытания

Рисунок 3. – Общий вид плит до и после испытания

Как видно из рисунка 3 разрушение плит в обоих случаях произошло в опорной части конструкции за счет потери устойчивости стенки металлического профиля. Данное разрушение сопровождалось образованием значительных наклонных трещин, раздроблением бетона в опорной зоне. Разрушающая нагрузка составила для плиты П-I составила - 62,5кН, а для плиты П-II - 30кН, что значительно больше, чем расчетная предельная нагрузка свободно опертой балки без пенобетонного заполнения.

Выводы:

1. Применения легких стальных тонкостенных конструкций при строительстве каркасных малоэтажных зданий и при надстройке дополнительных этажей позволяет существенно снизить нагрузку на основания и фундаменты, избежать дополнительных существенных затрат по их упрочнению и усилению.

2. Применение пенобетона в качестве теплоизоляционного заполнителя в каркасном домостроении позволяет получить ограждающие конструкции, отвечающие требованиям по теплопроводности, паропроницаемости и долговечности. Вместе с этим данный материал обладает повышенной по сравнению с мягкими теплоизоляционными материалам жесткостью, что позволяет существенно повысить общую жесткость каркаса здания и несущую способность диска покрытия или перекрытия.

3. Результаты испытания балок покрытия из ЛСТК с пенобетонным заполнением с двух сторон показали существенное увеличение несущей способности конструкций за счет совместной работы металлических балок и пенобетона. Разрушение образцов таких плит происходило за счет смятия опорной части, а не за счет потери устойчивости полки стального профиля из плоскости изгибающего момента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Вербицкий, И.О. Применение металлического профилированного листа в качестве несущего элемента монолитных перекрытий из пенобетона / И.О. Вербицкий // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 55-58.
3. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК): описание, плюсы и минусы, технология строительства / А. Кирницкая // Режим доступа: <https://www.syl.ru/article/328996/legkie-stalnyie-tonkostennyie-konstruktsii-istk-opisanie-plyusy-i-minusyi-tehnologiya-stroitelstva>. – Дата доступа: 28.11.2017.
4. 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.
5. Калафат, К. Противопожарное проектирование легких стальных тонкостенных конструкций/ К. Калафат, Л. Вахитова. – Киев: Украинский Центр Центр Стального Строительства. – 19 с.
6. Рыбаков, В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций/ В.А. Рыбаков. – Санкт-Петербург: С.-Пб. политех. ун-т, 2011 – 7 с.
7. Кремнев, А.П. Экспериментально-теоретические исследования плит из пенобетона и тонкостенного стального холоднодеформированного оцинкованного профиля / А.П. Кремнев, Е.Г. Кремнева, Р.А. Радкевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Прикладные науки. Строительство. – 2018. – № 16 – С. 37-42.
8. Кремнев, А.П. Несущая способность плит из пенобетона и тонкостенного холоднодеформированного стального профиля/ А.П. Кремнев, Е.Г. Кремнева// В сборнике: Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. Сборник статей II международной научной конференции. Под ред. Л. М. Парфеновой. Новополоцк, 2020. С. 136-142.
9. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-94. – Взамен ГОСТ 8829-85; введ.01.01.98. – Москва: МНТКС, 1998. – 19 с.

УДК 624.016

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДЕРЕВЯННЫХ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ СОЕДИНЕНИЯМИ НА «УВ-ОБОЙМЕ»

**И.А. Ладных**

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: [irenlad@yandex.ru](mailto:irenlad@yandex.ru)

*В статье рассмотрены вопросы усиления деревянных сжато-изгибаемых элементов с использованием однонаправленных углеродволоконных лент на эпоксидной матрице. Описан алгоритм расчета «УВ-обойм» при усилении деревянных сжато-изгибаемых элементов. Представлен численный пример расчета усиливаемых элементов и проверка поперечного сечения деревянного элемента с учетом «УВ-обойм». Результаты расчета подтверждаются экспериментальными данными на основе численного моделирования.*

**Ключевые слова:** деревянные конструкции, композитные материалы, усиление деревянных конструкций, композитные обоймы.

## METHOD OF CALCULATING THE WOODEN COMPRESSED-BENDING ELEMENTS, REINFORCED BY THE YV-CLIP CONNECTIONS

**I. Ladnykh**

Belarussian national technical university, Republic of Belarus

e-mail: [irenlad@yandex.ru](mailto:irenlad@yandex.ru)

*The article deals with the issues of strengthening wooden compressed-bending elements using unidirectional carbon fiber tapes on an epoxy matrix. An algorithm for calculating the "UV-cage" when reinforcing compressed-bendable wooden elements is described. A numerical example of calculating reinforced elements and checking the cross-section of a wooden element taking into account the "UV-clamps" is presented. The calculation results are confirmed by experimental data based on numerical simulation.*

**Keywords:** wooden structures, composite materials, strengthening of wooden structures, composite clips.

**Введение.** В настоящее время композитные материалы нашли широкое применение при усилении строительных конструкций. Большое количество исследований проведено для внешних систем усиления железобетонных конструкций, предложены и апробированы методики их расчета. Исследований в области усиления деревянных конструкций выполнено мало и предлагаются в основном методы усиления, связанные с наращиванием поперечного сечения, продольным армированием и усилением клееными стержнями. А.И. Згировский предложил применять соединения в виде обойм из однонаправленных углеродволоконных лент на эпоксидной матрице при усилении деревянных конструкций [1] (рисунок 1). В действующих нормах [11] отсутствуют рекомендации и методика расчета данного типа усиления.

**Основная часть.** Предлагаемая методика расчета усиления деревянных сжато-изгибаемых элементов основана на исследованиях соединения на «УВ-обойме» [3], экспериментальных исследованиях натуральных конструкций [4] и положениях теории составных стержней [5].

**Предпосылки расчета и уравнения напряженно-деформированного состояния деревянных сжато-изгибаемых элементов, усиленных «УВ-обоймой».**

Предлагаемая методика расчета усиленных деревянных сжато-изгибаемых элементов с использованием «УВ-обоймы» на следующих предпосылках:

- соединение на «УВ-обойме» является податливым, а усиливаемые элементы являются составными;
- расчетное сопротивление срезу определяется на основании испытания двухсрезных образцов.

В нормативном документе [11] изложена методика расчета составных элементов на податливых связях. В соответствии с ним для составных стержней выполняют следующие проверки:

- по прочности по нормальным напряжениям;
- по жесткости;
- по определению требуемого количества связей для восприятия касательных (сдвиговых) напряжений.

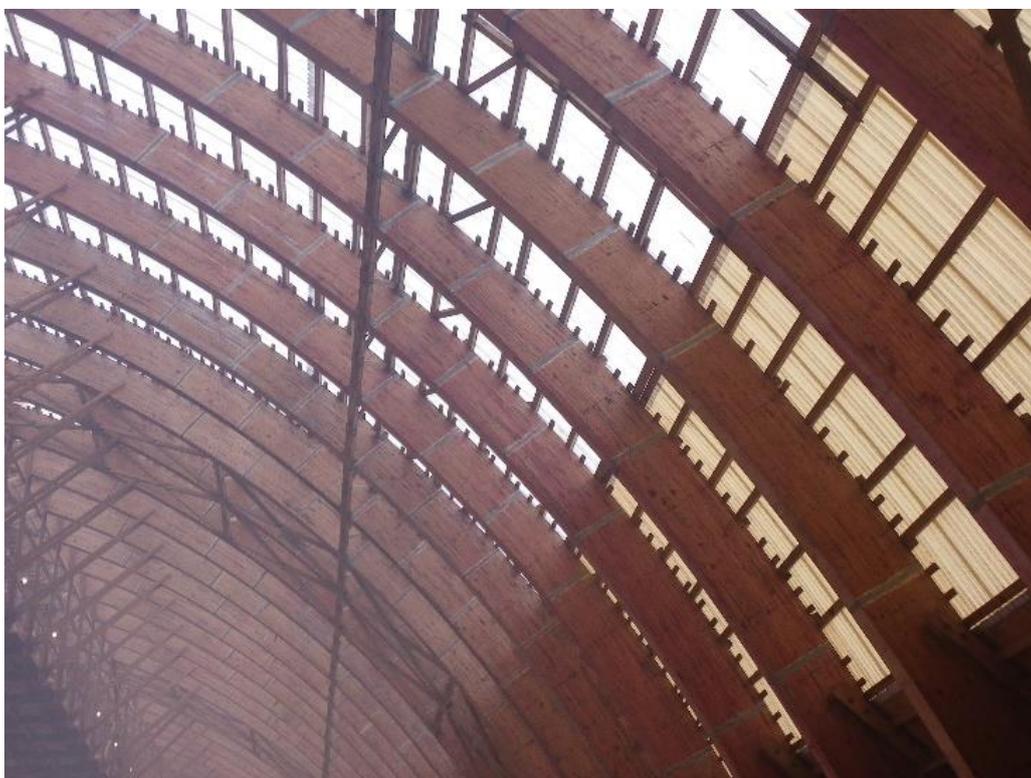


Рисунок 1. – Усиление деревянных конструкций с использованием углеродволоконных обойм

**Алгоритм расчета усиления деревянных конструкций с соединениями на обойме:**

1. Определение исходных данных: расчетной схемы и расчетного пролета усиливаемой конструкции, размеров поперечного сечения, фактическую несущую способность и требуемую несущую способность, фактические физико-механические характеристики древесины (прочность, модуль упругости и т.п.).

2. Определение локализации трещины (участка с трещиной); продольной силы и разность изгибающих моментов в начале и в конце трещины.

Подбор требуемой ширины «УВ-обоймы» из условия среза обоймы (1) как для соединения согласно [11].

Требуемое количество связей для восприятия касательных (сдвиговых) напряжений в соответствии с ТКП 45-5.05-146-2009 [11] на участке с однозначной эпюрой поперечных сил определяют из условия:

$$n_c \geq \frac{1,5 \cdot M_d \cdot S_{\text{sup}}}{k_{m,c} \cdot R_{i,d} \cdot J_{\text{sup}}} \quad (1)$$

где  $M_d$  - изгибающий момент от действия поперечной нагрузки;

$S_{\text{sup}}$  - статический момент брутто поперечного сечения относительно нейтральной оси;

$k_{m,c}$  - коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента;

$R_{i,d}$  - расчетная несущая способность одной связи в одном шве;

$J_{\text{sup}}$  - момент инерции брутто поперечного сечения элемента.

Оптимальную толщину «УВ-обоймы» определяем по формулам, определенным Н.В. Линьковым [6] (2) и (3). При сомнениях в прочностных характеристиках материала и невозможности укладки материала в несколько слоев провести дополнительные испытания на двухсрезах образцах.

$$t_{KM} = 0.025 \cdot h_1 \cdot (h_{\text{min}} / h_1) \quad (2)$$

$$t_{KM} = 0.052 \cdot (b / 2) \cdot (h_{\text{min}} / h_1) \quad (3)$$

где  $h_1$  - ширина, обклеиваемой поверхности одной стороны деревянной ветви;

$h_{\text{min}}$  - наименьшая высота поперечного сечения одной ветви;

$b$  - ширина деревянного элемента.

3. Проводим проверку по прочности и жесткости деревянного составного элемента с учетом коэффициентов податливости [11].

Согласно ТКП 45-5.05-146-2009 [11] расчет сжато-изгибаемых и внецентренно сжатых элементов составного поперечного сечения на прочность по нормальным напряжениям производят по формуле (4):

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{\text{inf}}} + \frac{M_d}{k_{m,c} \cdot k_w \cdot W_{\text{inf}}} \leq f_{c,0,d} \quad (4)$$

где  $N_d$  - расчетная осевая сила;

$A_{\text{inf}}$  - площадь расчетного сечения нетто;

$M_d$  - изгибающий момент от действия поперечной нагрузки;

$k_{m,c}$  - коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента;

$k_w$  - коэффициент, учитывающий податливость соединительных связей;

$W_{\text{inf}}$  - расчетный момент сопротивления нетто приведенного поперечного сечения элемента;

$f_{c,0,d}$  - расчетное сопротивление древесины сжатию.

При определении геометрических характеристик составного поперечного сечения в расчетах необходимо использовать именно приведенное поперечное сечение ввиду того, что модули упругости усиливаемого элемента и элемента усиления различны.

При выполнении расчетов усиленных конструкций по жесткости проверяют выполнение условия (5):

$$u \leq [u] \quad (5)$$

где  $u$  - наибольшее значение прогиба конструкции;  
 $[u]$  - предельно допустимое значение прогиба конструкции.

Значение наибольшего прогиба конструкции определяются по правилам строительной механики в зависимости от нагрузки, поперечного сечения, материала и расчетной схемы конструкции с учетом требований п.8.3 [11].

Для составных сечений момент инерции следует умножать на коэффициент  $k_i$ , который учитывает сдвиг податливых соединений.

Коэффициенты податливости  $k_w$  и  $k_i$  для различных длин элементов и различного числа слоев установлены на основании экспериментальных и численных исследований [5] и представлены в таблице 1-6.

Таблица 1. – Коэффициент  $k_w$  для элементов длиной 3 м

Число слоев в элементе	$k_{арм}$				
	0.25	0.3	0.5	0.7	1
2	0.88	0.92	0.94	0.95	0.96
3	0.78	0.80	0.82	0.84	0.86
10	0.70	0.74	0.76	0.78	0.80

Таблица 2. – Коэффициент  $k_w$  для элементов длиной 4 м

Число слоев в элементе	$k_{арм}$				
	0.25	0.3	0.5	0.7	1
2	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96
3	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92
10	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84

Таблица 3. – Коэффициент  $k_w$  для элементов длиной 6 м и более

Число слоев в элементе	$k_{арм}$				
	0.25	0.3	0.5	0.7	1
2	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
3	0.88	0.92	0.94	0.95	0.96
10	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88

Таблица 4. – Коэффициент  $k_i$  для элементов длиной 3 м

Число слоев в элементе	$k_{арм}$				
	0.25	0.3	0.5	0.7	1
2	0.78	0.82	0.84	0.88	0.9
3	0.52	0.55	0.56	0.59	0.6
10	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39

Таблица 5. – Коэффициент  $k_i$  для элементов длиной 4 м

Число слоев в элементе	$k_{арм}$				
	0.25	0.3	0.5	0.7	1
2	0.80	0.84	0.86	0.89	0.93
3	0.55	0.58	0.60	0.62	0.64
10	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48

Таблица 6. – Коэффициент  $k_i$  для элементов длиной 6 м и более

Число слоев в элементе	$k_{арм}$				
	0.25	0.3	0.5	0.7	1
2	0.81	0.85	0.87	0.89	0.93
3	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64
10	0.41	0.42	0.44	0.46	0.48

**Рекомендация для усиления деревянных сжато-изгибаемых элементов с применением соединения «УВ-обойма»:**

1. Эпоксидную матрицу и однонаправленные углеродные ленты необходимо выбирать в соответствии с рекомендациями производителя по их совместимости.
2. Для установления фактических характеристик «УВ-обоймы», выполненной из конкретного материала (эпоксидной матрицы и однонаправленной углеродволоконной ленты) рекомендуется изготовить двухсрезные образцы и провести испытания на сдвиг до разрушения.
3. Устройство «УВ-обойм», время и температура твердения композиционного материала принимать в соответствии с рекомендациями производителя.
4. Для усиливаемых элементов или для новых деревянных составных элементов определить требуемую несущую способность.
5. Определить фактические характеристики предполагаемой «УВ-обоймы». Если полученная расчетная несущая способность сдвигу «УВ-обоймы» не менее  $9,05 \text{ Н/м}^2$ , тогда можно использовать данные из таблиц 1-6 для установления коэффициентов податливости сечения. В противном случае необходимо подобрать другой композитный материал, который соответствовал бы требованиям.
6. «УВ-обоймы» необходимо расставлять только равномерно по длине элемента или усиливаемого участка. В противном случае данные рекомендации не распространяются на «УВ-обоймы».

**Примеры расчета усиления деревянных конструкций с соединением на обойме**

Рассмотрим пример усиления при проведении реконструкции здания деревянного сжато-изгибаемой клееной конструкции поперечным сечением  $b \times h = 120 \times 600 \text{ мм}$ , пролетом  $L = 6000 \text{ мм}$  с односторонней сквозной трещиной длиной  $L = 1000 \text{ мм}$ , расположенной на расстоянии  $300 \text{ мм}$  от нижней грани. Балка нагружена равномерно-распределенной нагрузкой  $q$  по всему пролету и продольной силой  $N$  (рисунок 2).

Несущая способность с учетом односторонней сквозной трещины составляет  $q = 5,7 \text{ кН/м}$ , при действии продольной силы  $N = 8.271 \text{ кН}$ . Согласно требованиям заказчика нагрузка на конструкцию будет составлять  $q = 6,0 \text{ кН/м}$ , при действии продольной силы  $N = 8.271 \text{ кН}$ .

Определены фактические физико-механические характеристики использованной древесины путем лабораторных испытаний предварительно отобранных из массива образцов. Влажность древесины несущих балок чердачного перекрытия составляет  $W = 12 \%$ . Определен предел прочности древесины при сжатии вдоль с пересчетом на влажность древесины  $W = 12 \%$ . По результатам дальнейшей обработки опытных данных получено значение расчетного сопротивления древесины сжатию вдоль волокон  $f_{с.0,d} = 14,4 \text{ МПа}$ . Модуль упругости при сжатии вдоль волокон определенный с пересчетом на влажность  $W = 12 \%$  составил  $E = 10000 \text{ МПа}$ .

Так как снижение несущей способности согласно [7] будет только в зоне трещины, соответственно установка обойм будет только в зоне трещин. Максимальный изгибающий момент на участке с трещиной будет в крайней точки трещины и определяется по формуле (6):

$$M = \frac{q}{2} \cdot (l \cdot x - x^2) = 15 \text{ кНм} \quad (6)$$

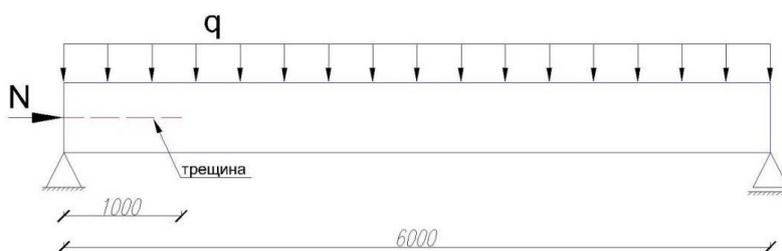


Рисунок 2. – Общий вид деревянного элемента с трещиной и схемой приложения нагрузки

Определим оптимальную толщину углеродволоконной обоймы по формулам (7) и (8):

$$t_{KM} = 0.025 \cdot h_1 \cdot (h_{\min} / h_1) \quad (7)$$

$$t_{KM} = 0.052 \cdot (b / 2) \cdot (h_{\min} / h_1) \quad (8)$$

где  $h_1$  - ширина, обклеиваемой поверхности одной стороны деревянной ветви;

$h_{\min}$  - наименьшая высота поперечного сечения одной ветви;

$b$  - ширина деревянного элемента.

На основании формул (7) и (8) определим, что оптимальная толщина композитного материала составляет от 3,12 до 7,5 мм.

Определим требуемую длину обоймы из условия сдвига по формуле (9)

$$n_c \cdot R_{i,d} = T_{сдв} \geq \frac{1,5 \cdot M_d \cdot S_{sup}}{k_{m,c} \cdot J_{sup}} = \frac{1,5 \cdot 15 \cdot 5400000}{0,96 \cdot 216000000} = 58,69 \text{ кН} \quad (9)$$

где  $M_d$  - изгибающий момент от действия поперечной нагрузки;

$S_{sup}$  - статический момент брутто поперечного сечения относительно нейтральной оси;

$k_{m,c}$  - коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента;

$R_{i,d}$  - расчетная несущая способность одной связи в одном шве;

$J_{sup}$  - момент инерции брутто поперечного сечения элемента.

Определим длину обоймы на участок с трещиной по формуле (10):

$$L_{YB} = T_{сдв} / (n_{cut} \cdot R_{YB} \cdot t_{KM}) = 58,69 / (2 \cdot 9,05 \cdot 7) = 0,46 \text{ м} \quad (10)$$

Так как ширина готовой ленты составляет 150 мм, тогда примем общую длину обоймы 600 мм и толщину уменьшим до 6 мм. Определим итоговую несущую способность обоймы на основе углеродволоконной ленты (11):

$$T_{сдв} = L_{YB} \cdot n_{cut} \cdot R_{YB} \cdot t_{KM}) = 0,6 \cdot 2 \cdot 9,05 \cdot 6 = 65,16 \text{ кН} \quad (11)$$

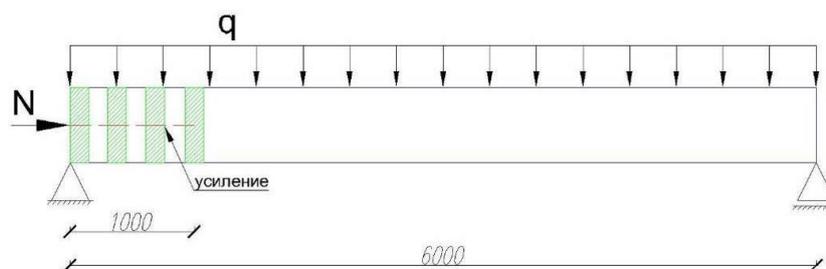


Рисунок 3. – Общий вид деревянного элемента с усилением «УВ-обоймой»

Условие по сдвиговой прочности выполнено.  $K_{арм}$  будет составлять 0.6.

Определим прогиб и прочность с учетом коэффициентов податливости по формулам (12) и (13) для всего деревянного сжато-изогнутого элемента. Коэффициенты податливости примем на основании таблиц 1-6. Результаты вычислений представлены в таблице 2.

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{inf}} + \frac{M_d}{k_{m,c} \cdot k_w \cdot W_{inf}} \leq f_{c,0,d} \quad (12)$$

$$u \leq [u] \quad (13)$$

Для подтверждения результатов расчета была построена численная модель согласно [12, 13, 14]. Результаты моделирования представлены на рисунках 4-6.

Таблица 7. – Результаты расчетов деревянной конструкции с односторонней трещиной и «УВ-обоймой»

	Расчет по ТКП [11]	Численное моделирование	Расхождение, %
σ, МПа в середине пролета	4,25	4,01	5,6
u, мм в середине пролета	7,27	6,60	9,2

**Заключение.** Методика расчета деревянных сжато-изгибаемых элементов, усиленных углеродволокном основа на стандартизированном методе, изложенном в ТКП. Предложены коэффициенты учета податливости. На примере конструкции продемонстрирована методика и численно подтверждены результаты теоретических расчетов, при этом расхождение результатов составляет от 5,6% до 9,2%.

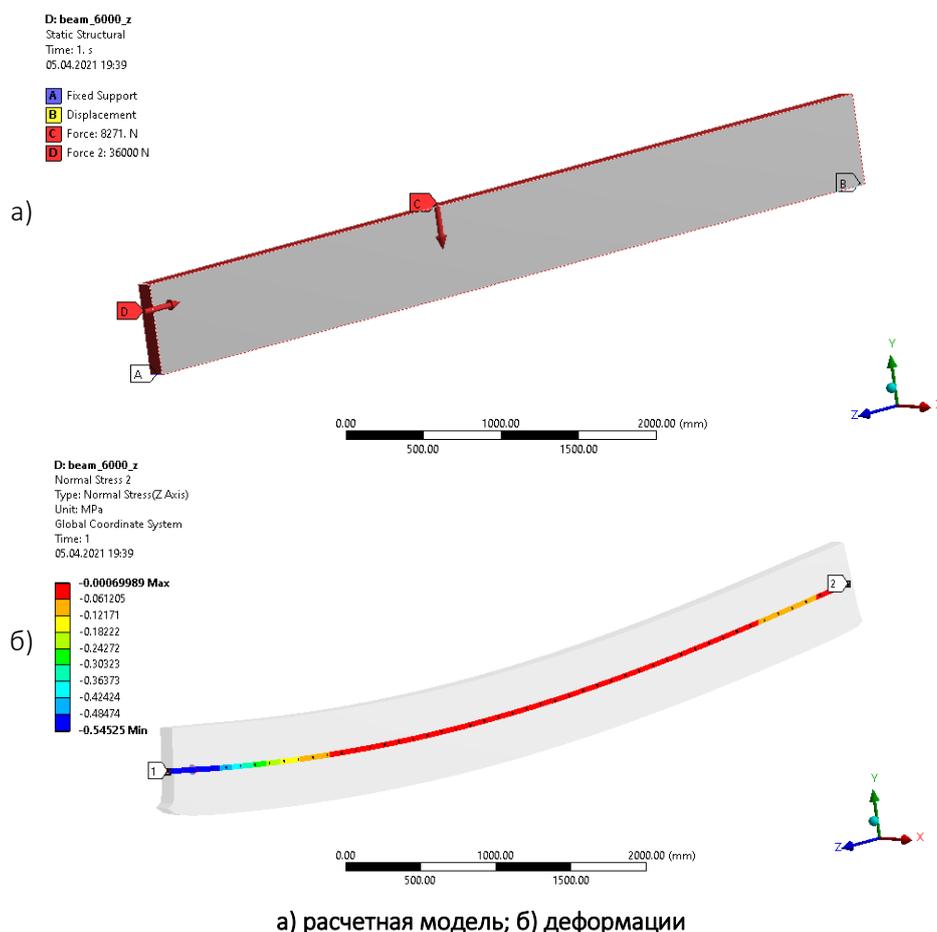
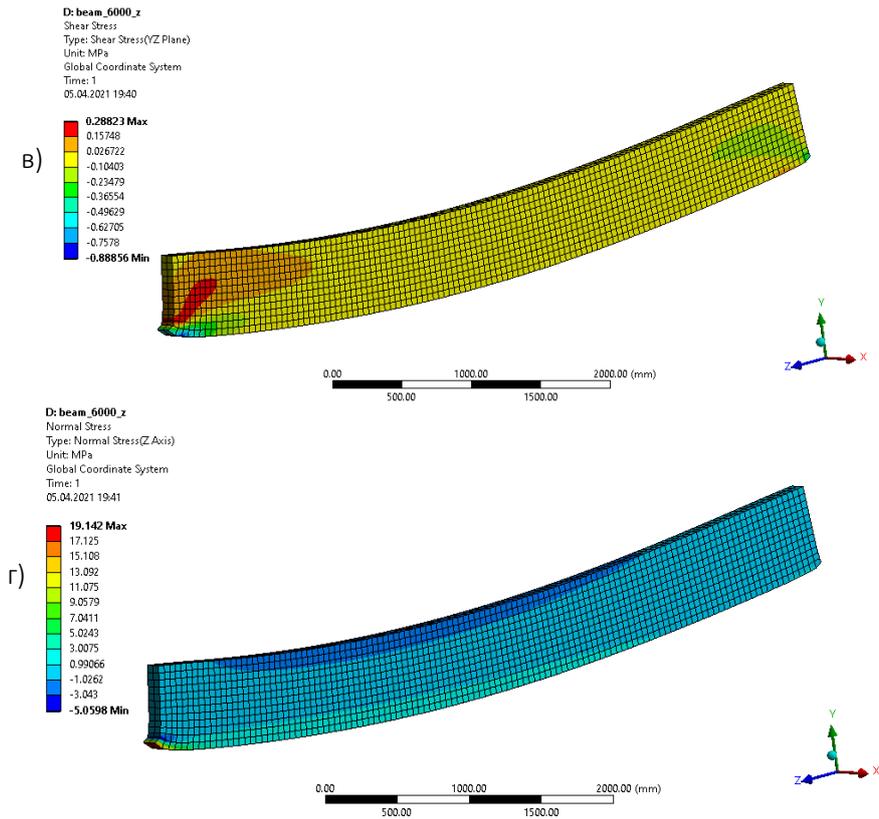
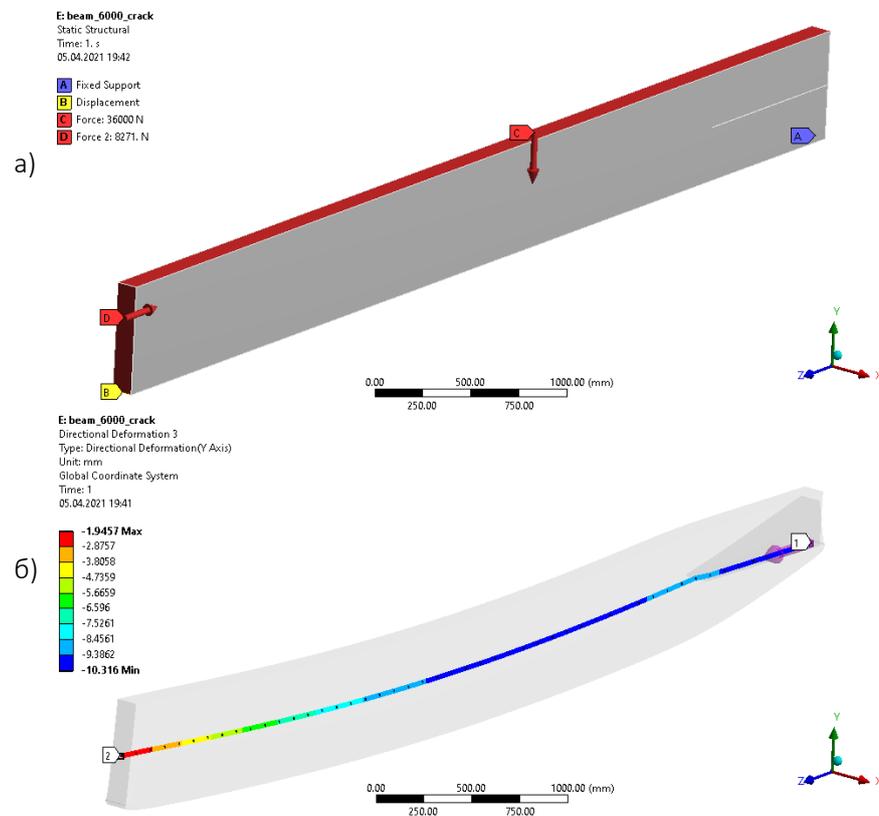


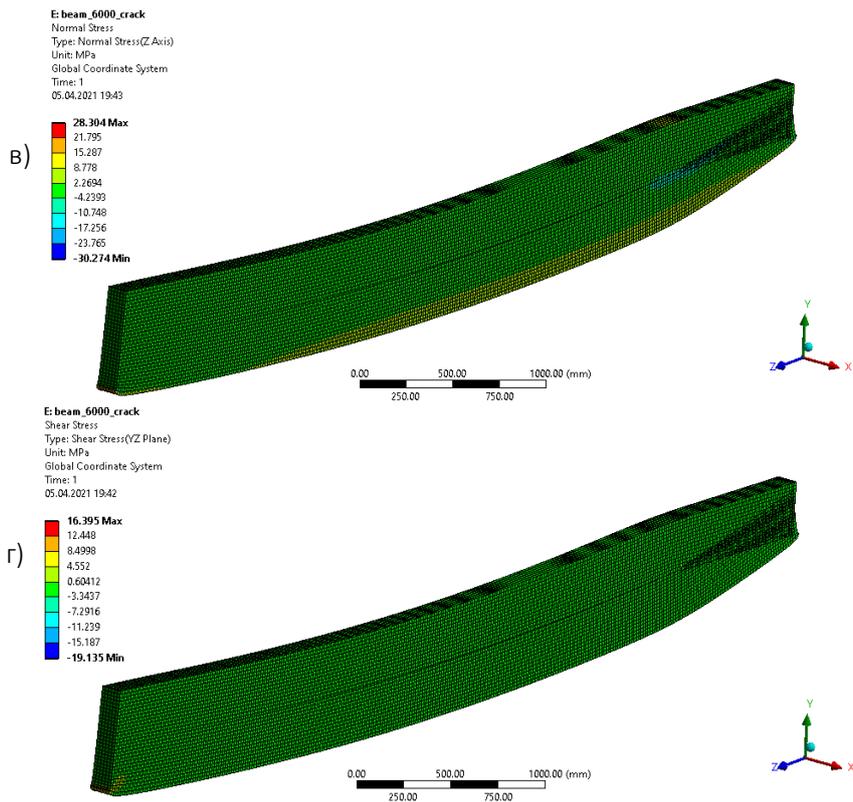
Рисунок 4. – Общий вид модели балки цельного сечения (начало)



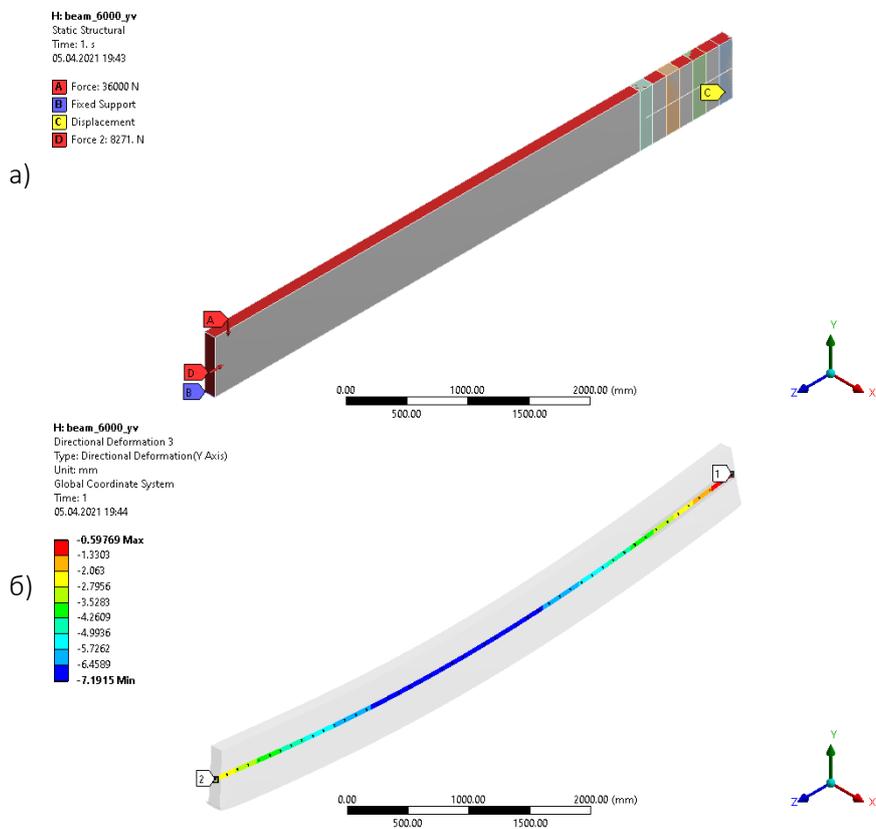
в) изополя нормальных напряжений; г) изополя касательных напряжений  
 Рисунок 4. – Общий вид модели балки цельного сечения (окончание)



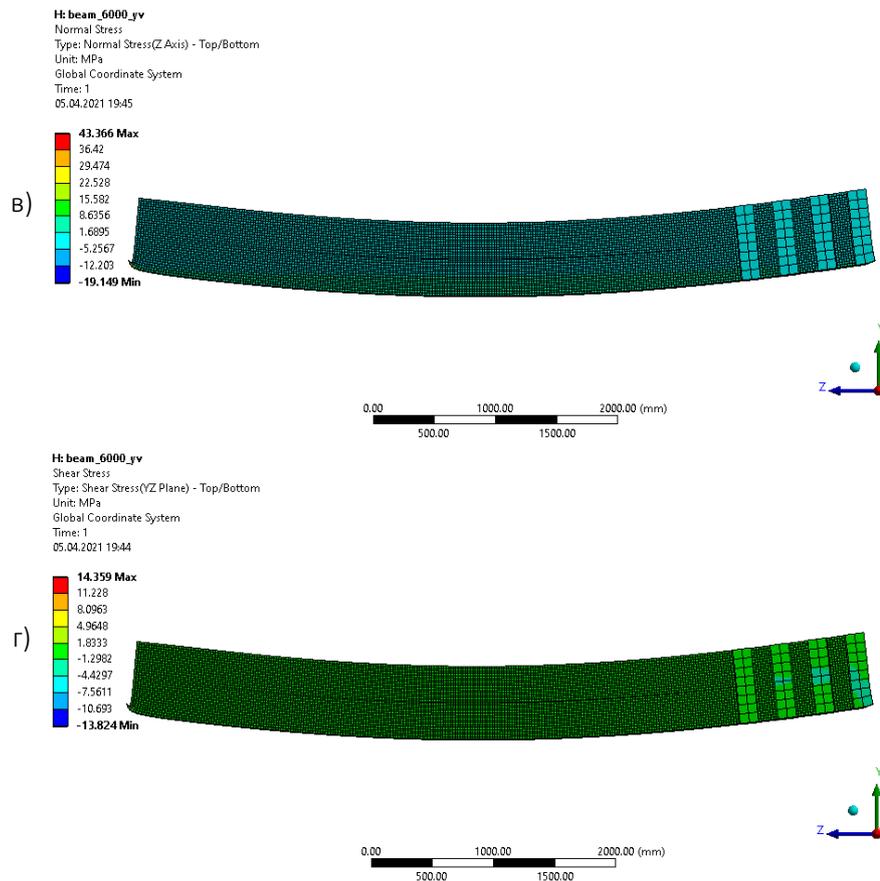
а) расчетная модель; б) деформации  
 Рисунок 5. – Общий вид модели балки с односторонней трещиной (начало)



в) изополя нормальных напряжений; г) изополя касательных напряжений  
 Рисунок 5. – Общий вид модели балки с односторонней трещиной (окончание)



а) расчетная модель; б) деформации  
 Рисунок 6. – Общий вид модели балки с трещиной с усилением «УВ-обоймой» (начало)



в) изополя нормальных напряжений; г) изополя касательных напряжений

Рисунок 6. – Общий вид модели балки с трещиной с усилением «УВ-обоймой» (окончание)

ЛИТЕРАТУРА

1. Згировский, А.И. Усиление клееных арок стрельчатого очертания / А.И. Згировский // Техническое нормирование и стандартизация в строительстве. – 2011. №5(48). – С.28-32.
2. Квасников Е.Н. О прочности и надежности деревянных балок и ферм //Повышение надежности и долговечности строительных конструкций: Межвуз.тем.сб. трудов / ЛИСИ. - Л., 1972. -№2. - С. 47-67.
3. Ладных, И.А. К вопросу расчета композитных усиливающих элементов / И.А. Ладных// Вестник гражданских инженеров. – 2018. - №2(67). – С.60-65.
4. Ладных, И.А. Экспериментальные исследования работы деревянных сжато-изогнутых элементов составного сечения на связях в виде «УВ-обоймы» / И.А. Ладных// Жилищное строительство. – 2018. – № 7. – С. 43–46.
5. Ладных, И.А. Исследование работы деревянных элементов, усиленных углеродволоконной обоймой / И.А. Ладных // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР)»: сб. тр. II Междунар. науч.-технич. конф., Брест, 29-30 марта 2018 г. – Брест, 2018. – С.76-81.
6. Линьков, Н.В. Несущая способность и деформативность соединений деревянных конструкций композиционным материалом на основе эпоксидной матрицы и стеклоткани/ Н.В. Линьков; дис... канд. техн. наук. — М.: МГСУ, 2010. – 186 с.
7. Найчук А.Я. К вопросу о несущей способности деревянных клееных балок со сквозными трещинами // Промышленное и гражданское строительство. - 2004. - №6. - С. 38-40.
8. Найчук А.Я., Чернолоз В.С., Петрукович А.Н. О прочности деревянных клееных балок с повреждениями в виде сквозных трещин // Ресурсоекономі матеріали, констркції, будівлі, та споруди. 36. наук. Праць / Національний університет водного господарства та природокористування. Рівне, 2005. - Вип. №12 - С. 218 - 227.

9. Плешков, П.Ф. Теория расчета деревянных составных стержней / П.Ф. Плешков. — М.: Гос. изд. лит. по стр-ву и арх., 1952. — 195 с.
10. Ржаницын, А.Р. Теория составных стержней строительных конструкций / А.Р. Ржаницын. — М.: Стройиздат, 1948. — 192 с.
11. ТКП 45-5.05-146-2009. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования. — Мн: Минстройархитектуры, 2010. — 72 с.
12. Geshanov, I. Composite reinforce concrete-timber floor system externally strengthened with CFRP composites / I. Geshanov, D. Kachlakev // 13th International Conference SFR. — Edinburg, Scotland, 2010. — P.151-153.
13. Jasieńko J., Rapp P., Nowak T.: Numeryczne modelowanie rozkładów odkształceń i naprężeń w belkach z drewna litego wzmocnionych przy użyciu CFRP. VII Konferencja Naukowa: Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. SzczecinMiędzyzdroje, 12-13 maja 2006. — С. 145-152.
14. Nowak T.: Wzmacnianie drewnianych konstrukcji zabytkowych przy użyciu taśm węglowych. Wiadomości Konserwatorskie, Warszawa, 14/2003, s. 21-27.

УДК 691.32 (043.3)

## ВЛИЯНИЕ ВИДА ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ С ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИЕЙ РАСШИРЕНИЯ

И.П. Павлова<sup>1</sup>, К.Ю. Беломесова<sup>2</sup>

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [pavlinna@tut.by](mailto:pavlinna@tut.by), <sup>2</sup> [kbelomesova@mail.ru](mailto:kbelomesova@mail.ru)

*Применение расширяющихся добавок на основе сульфоалюминатных композиций для модификации цементных систем позволяет не только компенсировать усадку, но в ряде случаев получить расширение и самонапряжение. Однако, зачастую применение активных расширяющихся вяжущих приводит к спадам прочности вплоть до самодеструкции. В данной статье представлены исследования возможности применения в активных расширяющихся системах разных видов дисперсного армирования, позволяющего, обеспечив энергией расширения, повысить прочность модифицированных расширяющихся цементных систем.*

**Ключевые слова:** расширяющаяся добавка сульфоалюминатного типа, дисперсное армирование, фибра, прочность, самонапряжение.

## INFLUENCE OF DISPERSE REINFORCEMENT ON THE STRENGTH PROPERTIES OF EXPANSIVE CEMENT BINDERS WITH HIGH EXPANSION ENERGY

I. Paulava<sup>1</sup>, K. Belamesava<sup>2</sup>

Brest State Technical University, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [pavlinna@tut.by](mailto:pavlinna@tut.by), <sup>2</sup> [kbelomesova@mail.ru](mailto:kbelomesova@mail.ru)

*The application of expansive additives on the basis of sulfoaluminate compositions for cement systems modification allows not only to compensate the shrinkage, but in some cases to obtain expansion and self-stressing. However, often the use of active expanding binders leads to strength falls up to self-destruction. This paper presents the research on the possibility of using different kinds of disperse reinforcement in active expansive systems, which allows increasing the strength of modified expansive cement systems by providing expansion energy.*

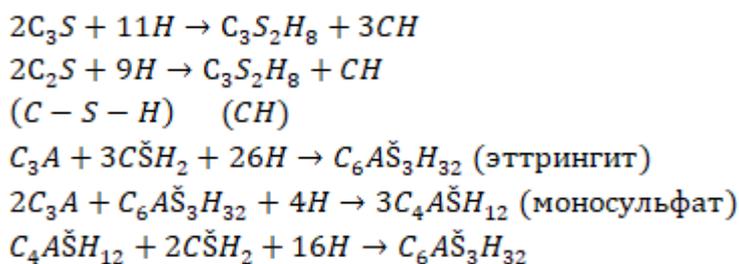
**Keywords:** sulfo-aluminate type expansive admixture, dispersed reinforcement, fiber, strength, self-stressing.

**Введение.** Бетон по праву является самым распространенным строительным материалом, ежегодное мировое потребление которого превысило 2 млрд. тонн [1]. Это стало возможным благодаря универсальности этого материала и возможности реализации от самых простых до самых смелых конструктивных решений. Кроме того, доступность сырьевых источников и достаточно низкая стоимость также внесли свой вклад. Однако, в рамках стратегии устойчивого развития все более остро встает вопрос, связанный с производством цемента, которое является чрезвычайно энергоемким процессом и, кроме того, приводит к колоссальным выбросам CO<sub>2</sub> в атмосферу. Поэтому прогресс в технологии бетона в современном представлении может быть достигнут только при соблюдении следующих условий: дальнейшем совершенствовании и улучшении свойств композита и одновременно с этим снижением расхода цемента.

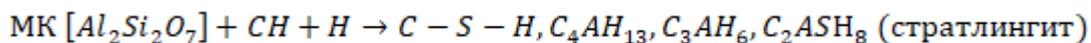
Одним из направлений при решении данной проблемы является модификация бетонных смесей путем введения активных минеральных добавок (SCM – от англ. *Supplementary cementitious materials*) для замены части цемента [1, 2]. С недавнего времени наряду с таким распространенным модификатором как микрокремнезем все большее распространение получает метакаолин.

Метакаолин относится к SCM в соответствии с ASTM C 618 (*Class N pozzolan*). Метакаолин занимает уникальное положение в классификации пуццоланов, поскольку не является побочным продуктом промышленности и не относится к природным пуццоланам. Метакаолин производится специально для применения в цементных системах. Это выгодно отличает его от других пуццоланов с непостоянным химическим составом и, как следствие, свойствами. Присутствие метакаолина в гидратирующей цементной системе оказывает существенное влияние на ход гидратационных процессов.

Для традиционного алитового цемента результатом гидратации является повышенное содержание портландита CH (может достигать 20...30% от общего количества гидратных новообразований). Базовые реакции гидратации представлены ф.1



Введение метакаолина дает нам следующие продукты гидратации по реакции:



Как видно из приведенной схемы метакаолин, содержащий аморфный кремнезем, в результате реакции ионов  $Ca^{2+}$  и  $Al^{3+}$  способствует образованию стратлингита  $C_2ASH_8$ . При этом, наличие алюминатной составляющей в присутствии гипса дает нам дополнительный источник эттрингита, позволяющего за счет твердофазового расширения компенсировать усадочные деформации, сопровождающие твердение гидратирующих цементных систем.

Таким образом, метакаолин благодаря наличию в своем составе как силикатной, так и алюминатной составляющей, позволяет достичь следующих эффектов – снизить количество портландита в системе и, в присутствии гипса, дать эффект расширения за счет образования эттрингита.

Применение активных расширяющихся вяжущих (марка по самоупругиванию НЦ-2 и выше) в силу специфики механизма расширения может привести к разуплотнению структуры, вызванному в большей степени интенсивным расширением твердых фаз. Это выражается определенными спадами прочности.

При этом напрягающим цементам (расширяющимся цементам) характерен набор прочности в более поздние сроки твердения, по сравнению, например, с традиционными цементными бетонами. Связано это с так называемым эффектом «самозалечивания» или иначе уплотнения структуры, вызван который «поздней» гидратацией силикатных минералов исходного цемента. На этом этапе по мнению автора [3] начальные повреждения (микротрещины, разуплотнения) практически полностью исчезают, и структура становится чрезвычайно плотной, что в свою очередь и является причиной увеличения механической прочности расширяющихся систем в более поздние сроки.

Поэтому, для нивелирования эффекта разуплотнения из-за активного расширения в таких системах, особенно на ранних стадиях твердения, следует применять дисперсное армирование [4]. Наиболее распространенными на сегодняшний день видами дисперсного армирования считаются металлические волокна (или стальная фибра), затем следуют полипропиленовые, базальтовые, стеклянные и углеродные (см. таблицу 1).

Таблица 1. – Виды волокон для фибробетона согласно [5]

Фибра (волокно)	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на растяжение R <sub>f</sub> , МПа·10 <sup>-3</sup>	Модуль упругости E <sub>f</sub> , ГПа	Удлинение при разрыве, %
Металлическая				
Стальная	7,8	0,5-1,50	190-210	2-6
Неметаллическая высокомодульная				
Асбестовая	2,6	0,9-3,1	68-70	0,6-1
Стеклоанная	2,6	1,8-3,9	70-80	1,5-3,5
Базальтовая	2,6	1,6-3,2	100-130	1,4-3,6
Углеродная	2,0	2,5-4,0	200-700	1,0-1,6
Полимерная низкоимодульная				
Полипропиленовая	0,9	0,4-0,77	3,5-8,0	10-25
Нейлоновая	1,1	0,77-0,84	4,2-4,5	16-20
Вискозная	1,2	0,66-0,7	5,6-5,8	14-16

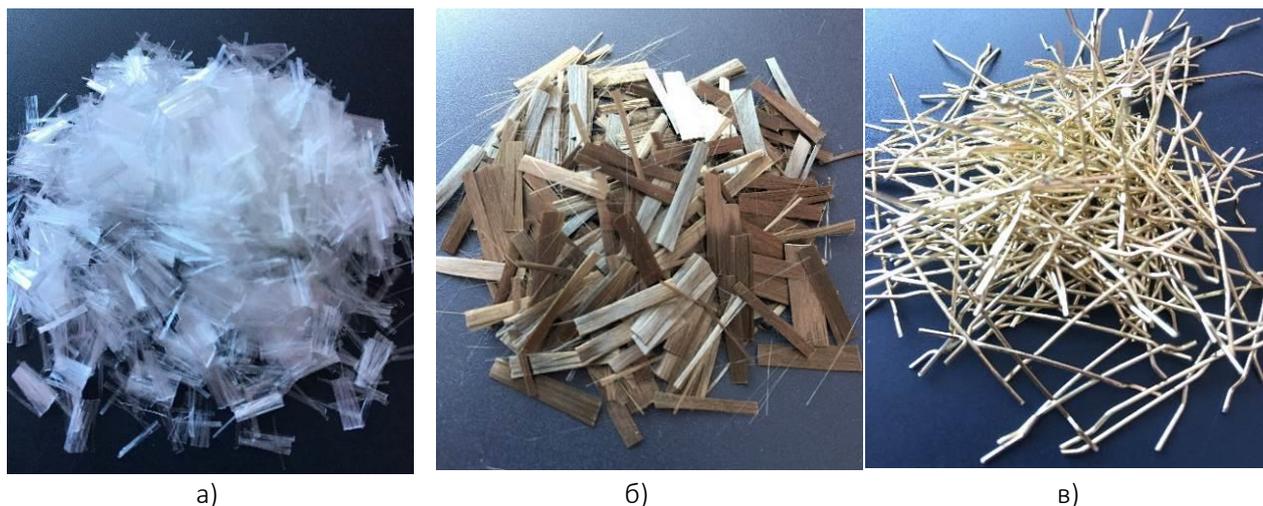
Чаще всего в цементных композитах в качестве армирующего элемента выступает стальная фибра различного вида, формы, конструктивных особенностей и технических характеристик. Применение стальной фибры приводит к значительному увеличению прочности на изгиб и снижению внутренних напряжений. В свою очередь армирование цементного камня полипропиленовой фиброй позволяет значительно улучшить физико-химические качества материала: водонепроницаемость, морозостойкость, прочность на растяжении при изгибе, повысить показатели усталостной и ударной прочности и т.д.

Что касается базальтового волокна, по прочности оно превосходит сталь, и обладает за счет малого диаметра (9..16 мкм) отдельного монофиламента (*англ. monofilament – мононить*), гораздо большей удельной поверхностью сцепления с цементным камнем, чем стальное, имея с ним химическое сродство. При этом относительное удлинение при разрыве базальтовой фибры в два раза ниже чем стальной, что позволяет ей более эффективно препятствовать образованию микротрещин в цементном камне при нагружении [5].

**Экспериментальные исследования.** Для более наглядного представления интенсивности процессов, развивающихся в расширяющихся цементных системах, были выбраны составы с высокой энергией расширения (марка по самонапряжению НЦ- 3 и выше, линейное расширение более 1,5 %).

С целью выявления влияния дисперсного армирования на прочностные свойства и характеристики расширения и самонапряжения расширяющихся цементных композитов были использованы следующие виды фибр (см. рисунок 1, таблица 2): - полипропиленовая (а), - базальтовая (б) и стальная (в).

На основании существующих многочисленных данных [4, 5] и результатов собственных исследований были приняты дозировки применяемых видов фибры в количестве 3 % от массы вяжущего.



а) полипропиленовая фибра; б) базальтовая фибра; в) стальная фибра

Рисунок 1. – Виды используемых волокон

Таблица 2. – Основные параметры применяемых волокон

Тип волокна	Размеры волокна, мм		Модуль упругости $E_f$ , ГПа
	$L_f$	$\varnothing_f$	
Полипропиленовая	6	0,1	5,2
Базальтовая	15	0,016	115
Стальная	30	0,5	195

Для экспериментальных исследований были использованы составы на основе портланд-цемента и сульфoалюминатной расширяющейся добавки (РД). В качестве алюминатной составляющей, содержащей в своем составе от 40 до 50 % оксида алюминия, были выбраны глиноземистый цемент (ГЦ) (состав А) и высокоактивный метакaoлин (МК) (состав В), химический состав которых представлен в таблице 3. В качестве сульфатного компонента использован двуводный гипс (Г).

Таблица 3. – Химический состав исходных материалов

Наименование	Количество оксидов, %					
	$Al_2O_3$	CaO	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	п.п.п.	прочие
ПЦ	5,0	68,4	22,4	1,6	–	2,4
ГЦ	40,4	40,5	10,8	2,61	–	5,69
МК	42,3	0,6	51,4	2,2	2,6	0,9

Были заформованы 8 партий образцов, отличающихся видом расширяющейся добавки и дисперсным армированием (таблица 4). В качестве контрольного был использован состав на основе портландцемента (состав С).

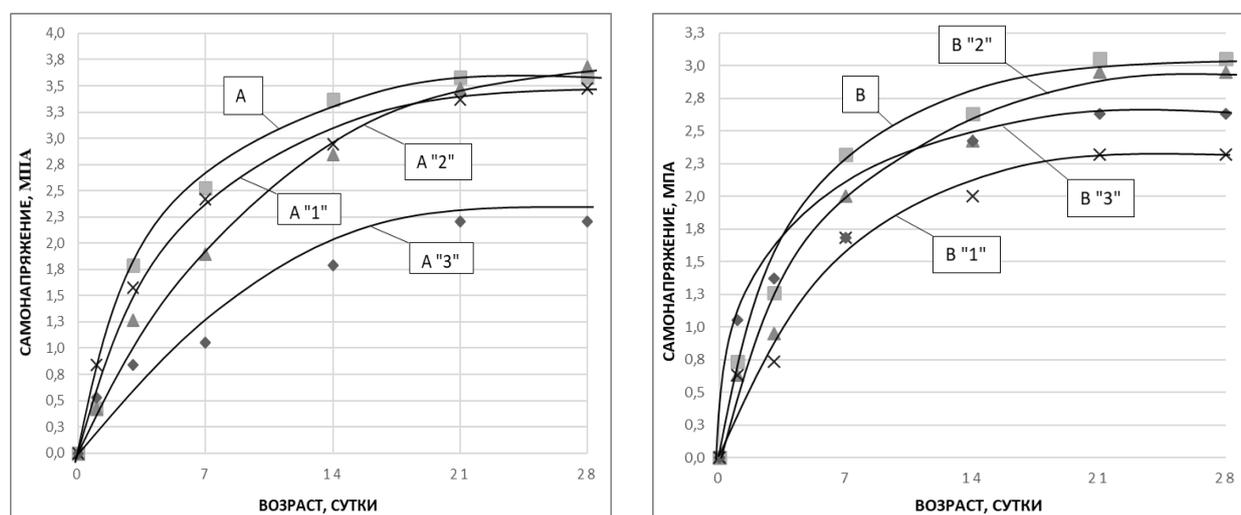
Для всех составов водовязущее отношение принято const и равным  $W/V_{вж}=0,33$ . В состав всех серий входил пластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов.

Определение величины собственных деформаций исследуемых составов выполнено в соответствии с требованиями СТБ 1335 [6]. Прочностные характеристики определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 310.4 [7].

Таблица 4. – Исследуемые составы

Обозначение серии	Процентное соотношение компонентов смеси НЦ		Содержание фибры, % (от массы вяжущего)	Вид используемой фибры
	РД, %	ПЦ, %		
А	20	80	–	–
А «1»			3%	полипропиленовая
А «2»			3%	базальтовая
А «3»			3%	стальная
В	20	80	–	–
В «1»			3%	полипропиленовая
В «2»			3%	базальтовая
В «3»			3%	стальная
С	–	100	–	–

**Результаты экспериментальных исследований.** На рисунке 2 представлены зависимости изменения самонапряжения исследуемых составов во времени.



**Рисунок 2. – Зависимость изменения самонапряжения во времени модифицированных вяжущих образцов серии А и В**

Для высокоактивных составов с высокой энергией расширения характерны спады прочности [3], вызванные расклинивающим давлением кристаллов этtringита в гидратирующей структуре. Для сохранения энергии расширения с одновременным увеличением прочностных характеристик предложена гипотеза о применении дисперсного армирования для высокоактивных модифицированных цементных систем.

Как видно из рисунка 2. при одинаковом проценте РД (20%) в вяжущем максимальное самонапряжение показали составы, модифицированные РД на основе смеси ГЦ и Г (3,7МПа) против 3,0 МПа у образцов на основе МК и Г. Это объясняется меньшей энергией расширения состава серии В, в первую очередь обусловленной меньшим количеством алюминатов в системе. Кроме того, немаловажным является сдерживающий эффект от своеобразного «скелета», образованного гелем С-S-H, которого образуется значительно больше по сравнению с гидратирующей системой на основе состава серии А благодаря наличию в метакеолине аморфного кремнезема. Более высокая скорость гидратации, обусловленная высокой дисперсностью метакеолина, также приводит к перераспределению формирующегося этtringита на кольматацию порового пространства.

На рисунке 3 представлены данные по изменению прочностных показателей во времени составов (А, В, С) без дисперсного армирования.

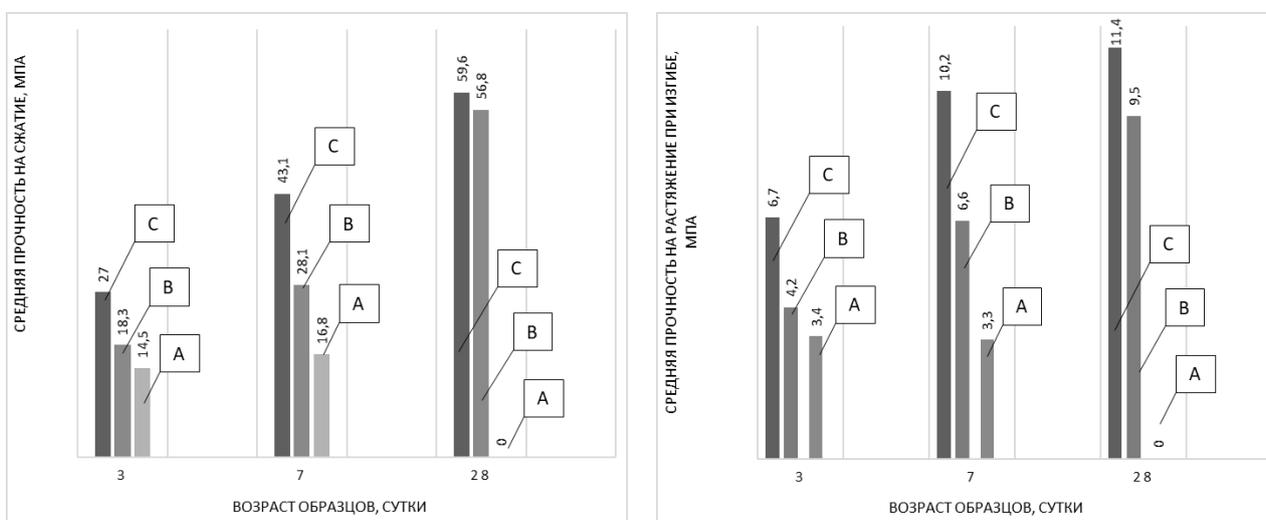


Рисунок 3. – Прочность на сжатие и растяжение при изгибе составов серии А, В, С

На диаграммах (см. рисунок 3) хорошо просматривается упоминавшийся ранее эффект «разуплотнения» структуры, который присущ композициям на основе активных расширяющихся вяжущих. Так состав А к 28 суткам саморазрушился, а состав В, показывавший в ранние сроки большой отрыв по прочности от контрольного, к 28 суткам выровнялся и практически догнал контрольный. Этот эффект обусловлен пуццолановым эффектом от силикатной составляющей, содержащейся в метаклаине.

Дисперсное армирование разными видами волокон приводит к внутреннему ограничению и позволяет снизить деструктивные процессы, происходящие на стадии активного расширения структуры (см. рисунок 4, 5).

Средние значения прочности контрольных составов, полученные в результате испытаний на сжатие и растяжение при изгибе образцов серий А и В, приведены на диаграммах (см. рисунок 4, 5).

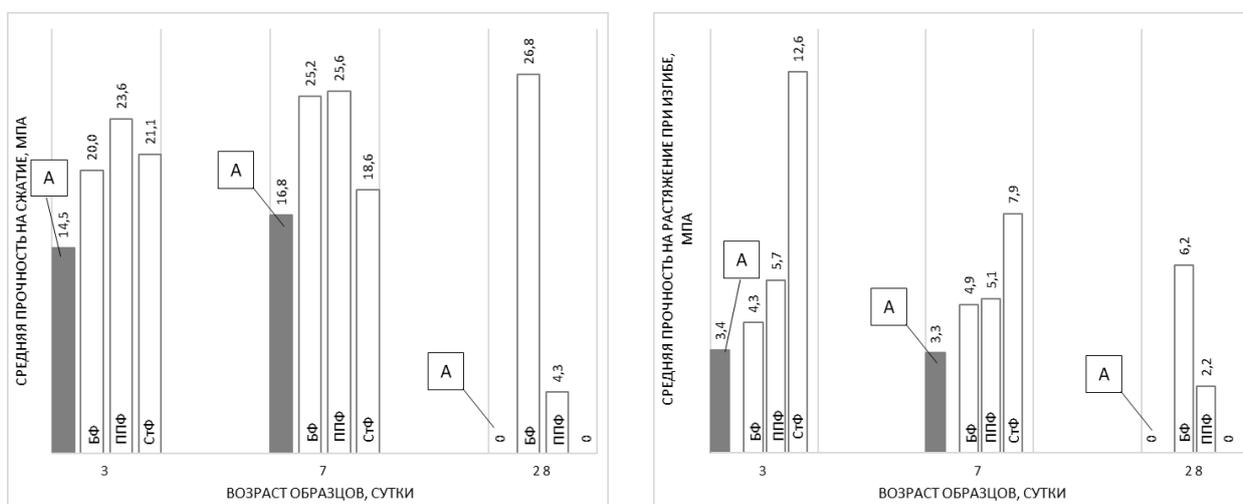


Рисунок 4. – Прочность на сжатие и растяжение при изгибе составов серии А

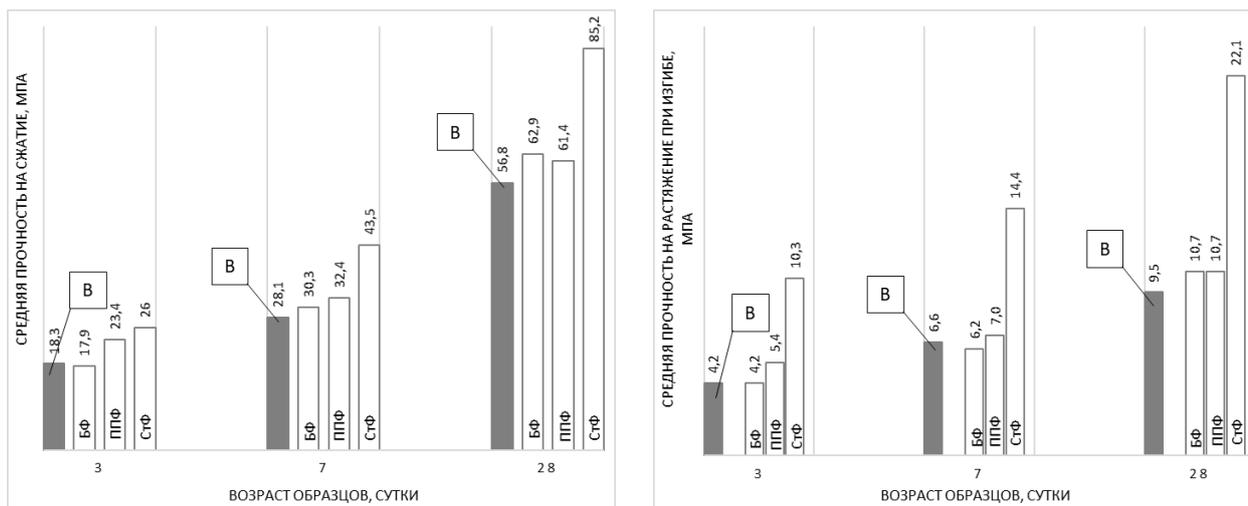


Рисунок 5. – Прочность на сжатие и растяжение при изгибе составов серии В

Как видно из рисунка 4, для сверхактивных составов, склонных к саморазрушению, применение стальной фибры не имеет смысла, так как при разуплотнении структуры нет сцепления цементного камня с фиброй и ограничивающего эффекта не возникает.

В то же время применение базальтовой фибры за счет химического срастания монофиламентов с цементным камнем дает мощный ограничивающий эффект и нивелирует эффекты разуплотнения, позволяя вместо разрушения достичь определенной прочности. Если эффекты разуплотнения не так очевидны (составы серии В на МК) (рисунок 5), то в данном случае наиболее эффективным является применение стальной фибры, позволяющей реализовать классическое дисперсное армирование.

Если сравнивать прочностные показатели исследуемых составов с контрольным на основе ПЦ в традиционном возрасте 28 сут. (см. рисунок 6), то применение дисперсного армирования в расширяющихся цементных системах наглядно демонстрирует возможности повышения прочности и превышения контрольных показателей даже для активных составов. Однако, в данном случае немаловажным является и выбор расширяющейся добавки. Дисперсно-армированные цементные системы, модифицированные РД на основе метаксаолина, позволяют одновременно с высокой энергией расширения достигать высоких характеристик прочности.

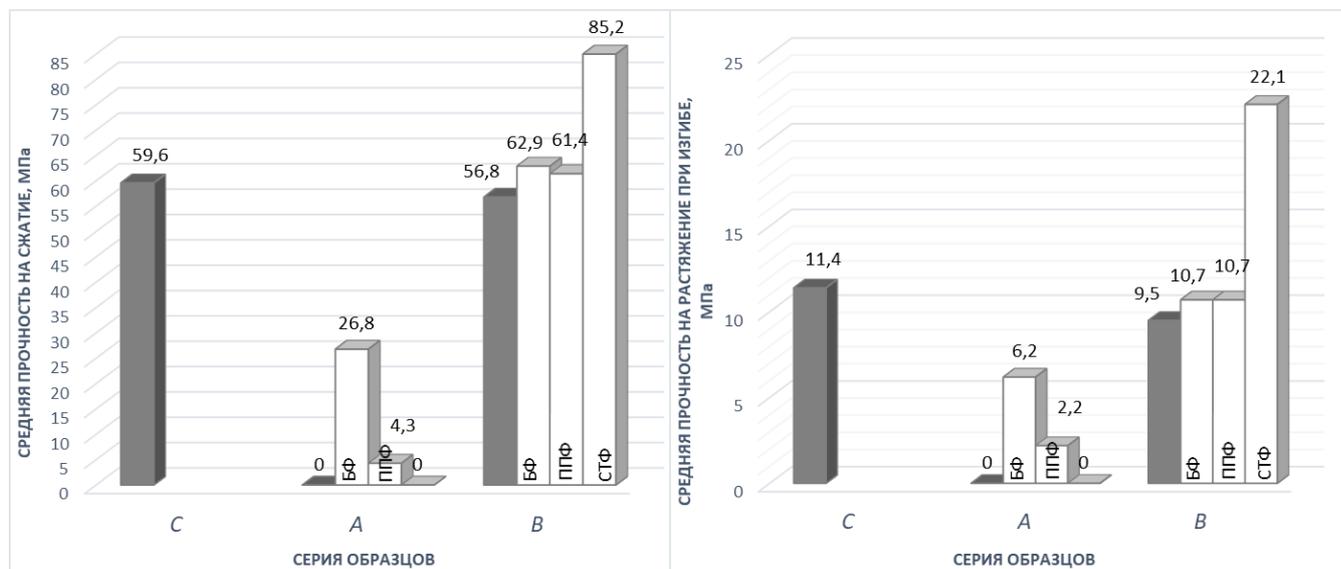


Рисунок 6. – Прочность образцов в возрасте 28 суток

**ВЫВОДЫ:**

1. Применение дисперсного армирования в высокоактивных расширяющихся системах позволяет за счет эффекта внутреннего ограничения нивелировать эффекты разуплотнения, позволяя, в ряде случаев, вместо саморазрушения получить композит с определенной прочностью.

2. Выбор вида дисперсного армирования должен быть обусловлен энергией расширения вяжущего. Так, для вяжущих, характеризующихся вследствие слишком активного расширения, разуплотнением вплоть до саморазрушения, оптимальным является применение базальтовой фибры, которая за счет вставания монофиламентов в цементный камень, позволяет за счет ограничения деструктивных процессов достигать определенной прочности.

3. Если эффекты разуплотнения не так очевидны, то в таком случае наиболее эффективным является применение стальной фибры, позволяющей реализовать все преимущества классического дисперсного армирования.

4. Немаловажным для обоснования вида дисперсного армирования является тип применяемой расширяющейся добавки. Расширяющиеся добавки на основе метакеолина в силу специфики гидратационных процессов позволяют одновременно с высокой энергией расширения достигать высоких характеристик прочности.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Mindess, S., Young, F.J. and Darwin, D. (2003), Concrete, 2nd ed., Upper Saddle River: Prentice Hall.
2. Sabir, B.B., Wild, S. and Bai, J. (2001), Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review, Cement and Concrete Composites, 23(6): 441-454.
3. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона. – Брест, 1998 – 244 с.
4. Рабинович, Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. — М.: Стройиздат, 1989. - 176 с.: ил. - (Наука - строит, производству) . — ISBN 5-274-00506-3
5. Розина, В.Е. Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом: дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.05 / В. Е. Розина. Вост.- Сиб. гос. ун-т техн. и упр. – Улан-Удэ., 2015. – 146 с.
6. Цемент напрягающий. Технические условия: СТБ 1335-2002. – Введ. 01.01.2003 – Мн.: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.
7. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии: ГОСТ 310.4-81. – Взамен ГОСТ 310.4-76; введ. 01.07.83. – Мн.: Госстандарт Союза ССР, 1983. – 16 с.

УДК 691.32

## РАЗВИТИЕ ДЕФОРМАЦИЙ УСАДКИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

**В.А. Ржевущая**

Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь

e-mail: valeriarzhevuckaya@gmail.com

*В статье представлен аналитический обзор по исследуемой тематике, рассмотрены основные факторы, влияющие на усадочные деформации бетона, отмечены характерные особенности развития деформаций усадки керамзитобетона. Описана методика проведения эксперимента. В материалах статьи изложены результаты исследований деформаций усадки керамзитобетона на основе местного сырья. Предложена логарифмическая зависимость, позволяющая оценить развитие относительных усадочных деформаций во времени.*

**Ключевые слова:** легкий бетон, керамзитобетон, усадка, влажностная усадка, деформации, трещинообразование, заполнители.

## DEVELOPMENT OF SHRINKAGE DEFORMATIONS OF EXPANDED CLAY CONCRETE

**V. Rzhevutskaya**

Belarusian-Russian University, Republic of Belarus

e-mail: valeriarzhevuckaya@gmail.com

*The article presents an analytical review on the investigation subject. The main factors affecting the shrinkage deformations of concrete are considered, the characteristic features of the development of shrinkage deformations of expanded clay concrete are described. The method of the experiment is considered. The article presents the results of investigations of the shrinkage deformation of expanded clay concrete based on local raw materials. The logarithmic dependence is proposed. This dependence makes it possible to assess the development of relative shrinkage deformations over time.*

**Keywords:** lightweight concrete, expanded clay concrete, shrinkage, drying shrinkage, deformations, cracking, aggregates.

**Введение.** Под усадкой принято понимать макроскопическое изменение объема бетона при твердении в воздушной среде [1]. Различают контракционную, карбонизационную и влажностную усадку [2].

На итоговые значения деформаций усадки бетона влияют многие факторы: состав бетона; водоцементное отношение; крупный и мелкий заполнитель; вид и активность цемента; наличие добавок; размеры образца; прочность и плотность бетона; производственные, технические и механические факторы; температура и влажность окружающей среды; условия твердения бетона; сопротивляемость к образованию трещин [1, 2–8]. Факторы, представленные выше, влияют не только на усадочные деформации керамзитобетона, но и оказывают существенный эффект на его прочность.

Для керамзитобетона характерна высокая трещиностойкость [9–11] и большие деформации усадки, чем для равнопрочного бетона на плотном заполнителе [12], примерно на 15–25 % больше [13], что связано с невысоким модулем упругости керамзита [14]. Например, в [15] опытные конечные значения усадочных деформаций керамзитобетонных образцов составили 0,66–0,9 %, а в [16] деформации усадки достигли итоговых значений в пределах 0,58–0,65 %.

Развитие усадки керамзитобетона - довольно длительный процесс, наблюдающийся в течение двух лет, однако наиболее интенсивно усадочные деформации проявляются в начальном периоде твердения бетона и в первый год, причем в первые 3-40 часов происходит увеличение объема образца, вследствие теплового расширения заземленного воздуха под влиянием экзотермической теплоты [17, 18].

**Основная часть.** Следующие материалы были использованы для изготовления опытных образцов:

- портландцемент марки М500 производства ОАО «Белорусский цементный завод» (активность 48,08 МПа);
- речной песок (средняя плотность 1660 кг/м<sup>3</sup>);
- керамзитовый гравий производства ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» (фракция 4–10 мм).

Подбор состава бетонной смеси был осуществлен на основании рекомендаций по подбору состава керамзитобетона, разработанными РУП «Институт БелНИИС» [19]. Состав бетонной смеси: Ц : П : К = 1 : 1,84 : 0,79, водоцементное отношение (В/Ц) = 0,52.

Исследования процесса развития усадки осуществлялись на образцах-призмах размером 150x150x600 мм в соответствии с [20]. Хранение опытных образцов осуществлялось при нормально-влажностных условиях.

Усадочные деформации керамзитобетона замерялись при помощи индикаторов часового типа (цена деления 0,001 мм и 0,002 мм) на каждой грани посередине испытываемого образца.

Испытания свободной усадки керамзитобетона проводились по продолжительности не менее 120 суток.

Процесс подготовки образцов-призм к испытаниям включал в себя следующие этапы:

1. Определение характеристик используемых материалов (песок, керамзит, цемент);
2. Подбор состава керамзитобетона на основе определенных характеристик материалов в соответствии с [19];
3. Визуальный осмотр образцов-призм, устранение на поверхностях керамзитобетона наплывов, взвешивание опытных образцов на весах (с погрешностью 10 г), измерение размеров образцов-призм (с точностью до 1 мм). Запись результатов данных в журнал испытаний.
4. Приклеивание после набора прочности керамзитобетоном (не менее 1 сут.) к опытному образцу стальных реперов. При необходимости обезжиривание приклеиваемой поверхности репера органическим растворителем.
5. Установка индикаторов в отверстия стальных реперов.
6. Снятие показаний экспериментальных данных через сутки, затем на 3, 7, 14 суток согласно [20]. Поддержание при проведении испытаний нормального температурно-влажностный режима окружающей среды (при температуре 20±2 °С и относительной влажности воздуха 60±5 %).
7. Фиксирование показаний индикаторами часового типа деформаций усадки керамзитобетона.
8. Определение основных прочностных и деформативных характеристик при наборе прочности керамзитобетона (не менее 28 сут.): кубиковой, цилиндрической и призмочной прочности; продольных и поперечных деформаций; модуля упругости и модуля сдвига; коэффициента Пуассона в соответствии с [21, 22].

Результаты эмпирических данных средних относительных деформаций усадки керамзитобетона приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты определения деформаций усадки керамзитобетона

Возраст бетона t, сут	7	14	21	28	60	90	120
Относительные деформации усадки, $\epsilon_{ics}(t, t_0) \times 10^5$	0	6,56	14,04	17,39	30,09	36,92	44,85

На рисунке 1 представлен процесс развития средних относительных деформаций усадки керамзитобетона во времени.

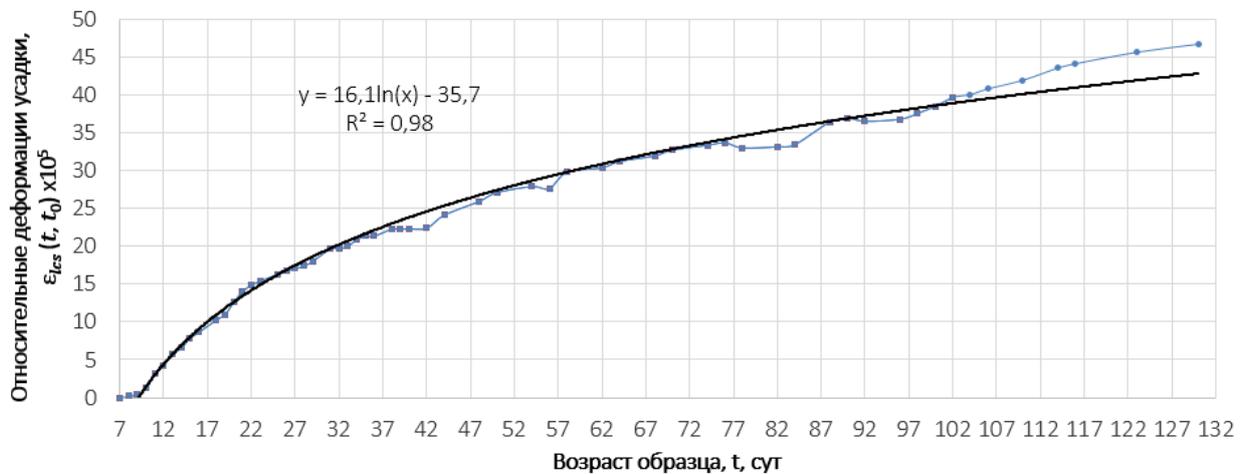


Рисунок 1. – Развитие средних относительных деформаций усадки керамзитобетона во времени

Предварительно на основании результатов испытания опытных образцов-призм для аналитического определения получена следующая логарифмическая зависимость, позволяющая оценить развитие относительных усадочных деформаций во времени (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,98$ ):

$$\varepsilon_{ics}(t, t_0) = 16,1 \ln(t) - 35,7, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{ics}(t, t_0)$  – величина относительных деформаций усадки керамзитобетона;  
t – возраст бетона, сут.

**Заключение.** Относительно высокие величины усадочных деформаций отрицательно сказываются на прочностных характеристиках керамзитобетона, трещинообразовании и долговечности. Основные факторы, влияющие на деформации усадки бетона, оказывают в свою очередь существенный эффект на его прочность. Необходимо учесть соответствующие факторы при подборе бетонной смеси, поскольку существует взаимосвязь между прочностью на сжатие и усадкой бетона. Таким образом, полученные экспериментальные данные и предложенная логарифмическая зависимость позволяют оценить особенности развития относительных усадочных деформаций во времени и способствуют усовершенствованию математической модели расчета деформаций усадки керамзитобетона, изготовленного на основе местной сырьевой базы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Симонов, М. З. Основы технологии легких бетонов / М. З. Симонов – Москва : Стройиздат, 1973. – 58 с.
2. Rzhvutskaya, V. A. Shrinkage of expanded clay concrete: A review / V. A. Rzhvutskaya // AlfaBuild. – 2020. – Vol. 15, iss. 3. – 6 p. doi: 10.34910/ALF.15.1
3. Effect of nano-SiO<sub>2</sub> on strength, shrinkage and cracking sensitivity of lightweight aggregate concrete / X. F. Wang [et al.] // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 175. – P. 115–125.
4. Field evaluation of the impact of environmental conditions on concrete moisture-related shrinkage and coefficient of thermal expansion / A. Mateos [et al.] // Cement and Concrete Research. – 2019. – Vol. 225. – P. 348–357.

5. Gong, J. Influence of shrinkage-reducing agent and polypropylene fiber on shrinkage of ceramsite concrete / J. Gong, W. Zeng, W. Zhang // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 159. – P. 155–163.
6. Hawreen, A. Creep, shrinkage and mechanical properties of concrete reinforced with different types of carbon nanotubes / A. Hawreen, J. A. Bogas // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 198. – P. 70–81.
7. Hussein, Z. M. Shrinkage and impact strength of fibre-reinforced artificial lightweight aggregate concrete / Z. M. Hussein, W. I. Khalil, H. K. Ahmed // Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 671, iss. 1. – P. 1–11.
8. Lee, K. Shrinkage strains of lightweight aggregate concrete using expanded bottom ash and dredged soil granules / K. Lee, K. Yang, H. Yoon // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 188. – P. 934–945.
9. Семенюк, С. Д. Методики определения границ микротрещинообразования / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова // Строительство уникальных зданий и сооружений. Construction of Unique Buildings and Structures. – 2018. – № 7(70). – С. 22–30. doi: 10.18720/CUBS.70.2.
10. Семенюк, С. Д. Определение границ образования микротрещин в зависимости от плотности керамзитобетона / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 52(4). – С. 129–136. doi: 10.25987/VSTU.2018.52.4.012.
11. Москалькова, Ю. Г. Особенности расчета железобетонных конструкций из обычного и легкого бетонов при усилении набетонкой в условиях статического малоциклового нагружения / Ю. Г. Москалькова // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві : зб. наук. праць / Луцький НТУ ; редкол. : П. П. Савчук [и др.]. – Луцьк, 2019. – Вип. 12. – С. 123–131. doi: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-15.
12. Семенюк, С. Д. Особенности определения стесненной усадки керамзитожеле-зобетона / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова, В. А. Ржевущая // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – Новополоцк, 2020. – № 8. – С. 58–65.
13. Кудрявцев, А. А. Предварительно-напряженный керамзитобетон / А. А. Кудрявцев – М. : Стройиздат, 1974. – 93 с.
14. Kaszyńska, M. Influence of mixture composition on shrinkage cracking of lightweight self-consolidating concrete / M. Kaszyńska, A. Zieliński // Brittle Matrix Composites 10. – 2012. – P. 265–274.
15. Кравченко, С. А. Экспериментальное исследование усадки, ползучести и потерь напряжения в арматуре элементов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / С. А. Кравченко, А. А. Постернак // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 56. – С. 124–128.
16. Штерн, В. О. Конструктивные свойства керамзитозобетона и особенности работы изгибаемых элементов из него : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / В. О. Штерн. – Челябинск, 1990. – 17 с.
17. Bentur, A. Prevention of autogenous shrinkage in high-strength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates / A. Bentur, Sh. Igarashi, K. Kovler // Cement and Concrete Research. – 2001. – Vol. 31. – P. 1587–1591.
18. Wendling, A. Creep and shrinkage of lightweight self-consolidating concrete for prestressed members / A. Wendling, K. Sadhasivam, R. W. Floyd // Construction Building Materials. – 2018. – Vol. 167. – P. 205–215.
19. Рекомендации по подбору составов, изготовлению и применению модифицированных химическими и минеральными добавками конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного керамзитобетонов / РУП «Институт БелНИИС». – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2013. – 38
20. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести = Бетоны. Методы визначення деформацій усадження і паўзучасці : ГОСТ 24544-81\*. – Переиздание (ноябрь 1987 г.) с Изменением № 1 (введено в действие с 01.05.1985, утверждено 24.04.1985) ; введ. 01.01.1982. – Москва : Госстандарт, 1980. – 26 с.
21. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам = Методы визначення трываласці па кантрольных узораў : ГОСТ 10180-2012. – Взамен ГОСТ 10180-90 ; введ. 01.07.2013. – М. : Стандартиформ, 2013. – 30 с.
22. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости, коэффициента Пуассона = Бетоны. Методы визначення призмочной трываласці, модуля пругканасці, каэфіцыента Пуасона : ГОСТ 24452-80. – Переиздание (июль 1989 г.) ; Введ. 01.01.1982. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 16 с.

УДК 693.554-408.8

## К ВОПРОСУ О СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ АРМАТУРЫ СЕРПОВИДНОГО ПРОФИЛЯ С КЕРАМЗИТОБЕТОНОМ

**Т.Н. Седляр**

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь  
e-mail: Sedlyr\_TN@grsu.by

*В работе рассмотрена совместная работа арматуры серповидного профиля с керамзитобетоном; описаны экспериментальные образцы.*

**Ключевые слова:** арматура, стержни с серповидным профилем, легкий бетон, призмы, кубы, балки, сцепление.

## ON THE QUESTION OF THE JOINT WORK OF THE CRESCENT-SHAPED PROFILE REINFORCEMENT WITH EXPANDED CLAY CONCRETE

**T. Sedliar**

Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus  
e-mail: Sedlyr\_TN@grsu.by

*The article discusses the joint work of crescent-shaped reinforcement with expanded clay concrete; experimental samples are described.*

**Keywords:** reinforcement, ribbed bars (crescent-shaped), lightweight aggregate concrete, prisms, cubes, beams, adhesion.

**Введение.** Нормативная база Республики Беларусь по строительству в последнее время развивается в ускоренном темпе. Первоначально изменения связаны были с переходом на европейские нормы проектирования, однако они не позволяли судить о работе тех или иных конструкций должным образом. В первую очередь это касается легких бетонов. При проектировании строительных конструкций из легких бетонов возникает много вопросов, связанных с составом бетона [1, 2], особенностями работы легких бетонов под нагрузкой [3, 4, 5, 6, 7], анкерровкой арматуры серповидного профиля в легких бетонах, сцеплением бетона с арматурой [8].

**Основная часть.** С целью достаточного полного изучения особенностей работы легких бетонов с арматурой серповидного профиля необходимо провести экспериментальные исследования на двух сериях образцов, включающих 32 балки, таблица 1. В каждой из серий опытных образцов также необходимо испытывать кубы с размером ребра 150 мм; призмы с размерами 150×150×600 мм для определения прочностных и деформативных характеристик бетона при однократном нагружении; цилиндры диаметром 150 мм высотой 300 мм.

Подбор составов бетонной смеси производился согласно Рекомендаций РУП «БелНИИС» по подбору, изготовлению и применению конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного керамзитожелезобетонов [9].

Для изготовления керамзитобетона класса LC 12/13 в качестве крупного заполнителя для бетона класса LC 12/13 использовался керамзитовый гравий фракций 5-10 мм и 10-20 мм с относительной прочностью в цилиндре 2,68 МПа и 1,86 МПа соответственно.

Мелким заполнителем служил песок с модулем крупности  $M_{кр}=1,8$ . Вяжущим служил портландцемент ОАО «Белорусский цементный завод» марки М 500.

Состав керамзитобетонной смеси для бетона класса LC 16/18: Ц:П:Г=1:1,72:0,83 при водоцементном отношении В/Ц=0,49.

В качестве крупного заполнителя использовался керамзитовый гравий фракций 5-10 мм и 10-20мм в равном весовом соотношении.

Мелким заполнителем служил песок с модулем крупности  $M_{кр}=1,8$ . Вяжущим служит портландцемент марки М 500.

Состав керамзитобетонной смеси для бетона класса LC 16/18: Ц:П:Г=1:1,84:0,78 при водоцементном отношении  $V/C=0,46$ .

Таблица 1. – Характеристика и количество опытных образцов

№ серии	Характеристика и размеры опытных образцов	Количество, шт.	Исследуемые факторы
1 – класс бетона LC12/13	Кубы из легкого бетона размерами 150×150×150 мм	12	Кубиковая прочность бетона
	Призмы из легкого бетона размерами 150×150×600 мм	6	Призменная прочность бетона
	Цилиндры из легкого бетона диаметром 150мм высотой 300мм	12	Цилиндрическая прочность бетона
	Арматуры Ø10 мм класса S500	5	Прочностные характеристики арматуры на растяжение
	Арматуры Ø12 мм класса S500	5	Прочностные характеристики арматуры на растяжение
	Арматуры Ø14 мм класса S500	5	Прочностные характеристики арматуры на растяжение
	Балки размерами 100×150×1400 мм	4×4=16	Напряжённо-деформированное состояние при статическом нагружении
Всего в 1-й серии образцов испытано: 16 балок, 12 кубов, 6 призм, 12 цилиндров, 20 стержней арматуры			
2 – класс бетона LC16/18	Кубы из легкого бетона размерами 150×150×150 мм	12	Кубиковая прочность бетона
	Призмы из легкого бетона размерами 150×150×600 мм	6	Призменная прочность бетона
	Цилиндры из легкого бетона диаметром 150мм высотой 600мм	12	Цилиндрическая прочность бетона
	Арматуры Ø10 мм класса S500	5	Прочностные характеристики арматуры на растяжение
	Арматуры Ø12 мм класса S500	5	Прочностные характеристики арматуры на растяжение
	Арматуры Ø14 мм класса S500	5	Прочностные характеристики арматуры на растяжение
	Балки размерами 100×150×1400 мм	4×4=16	Напряжённо-деформированное состояние при статическом нагружении
Всего во 2-й серии образцов испытано: 16 балок, 12 кубов, 6 призм, 12 цилиндров, 20 стержней арматуры			

Конструктивные схемы анкеровки экспериментальных образцов даны на рисунке 1 [10].

Призмы имеют поперечное сечение 150×150×600мм, в которых будут размещаться стержни диаметром 10, 12, 14мм. Длина анкеровки будет равна  $l_b = 10 \cdot d$  или 100, 120, 140 мм соответственно.

Вместе с призмами изготавливаются кубы с размерами ребра 150 мм и цилиндры Ø150 мм и высотой 600мм. Следует также обратить внимание, что для легких бетонов минимальную толщину защитного слоя следует увеличивать на 5% от величины защитного слоя для тяжелых бетонов [11].

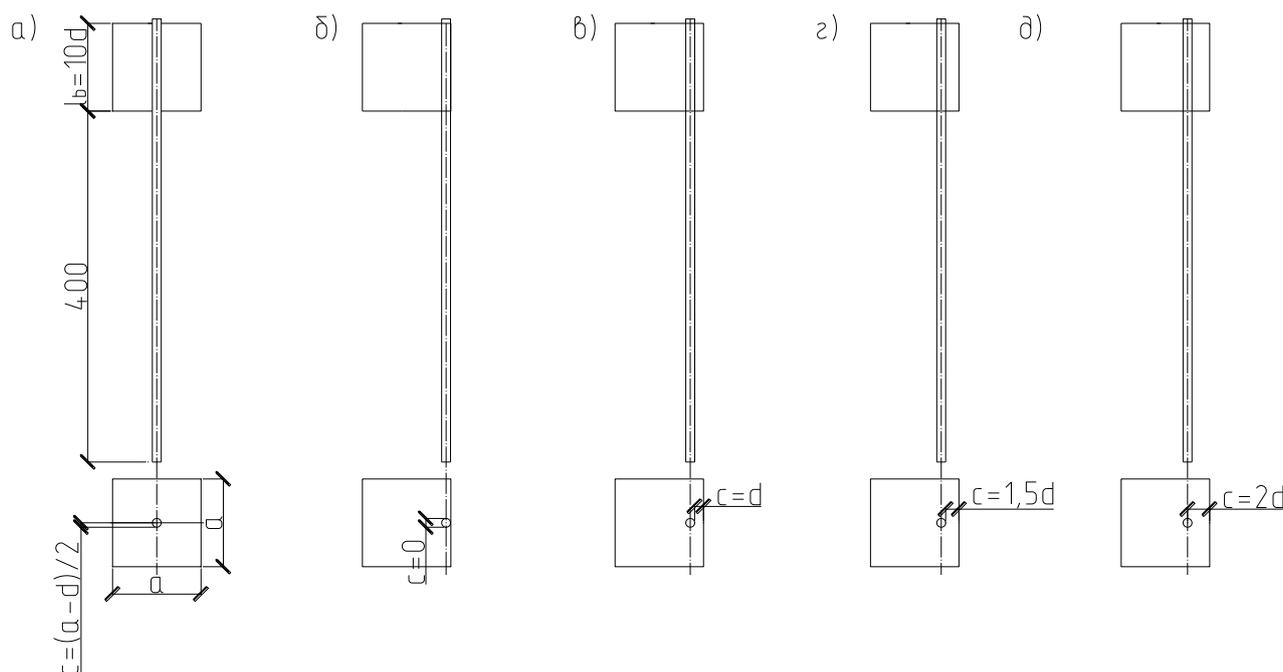
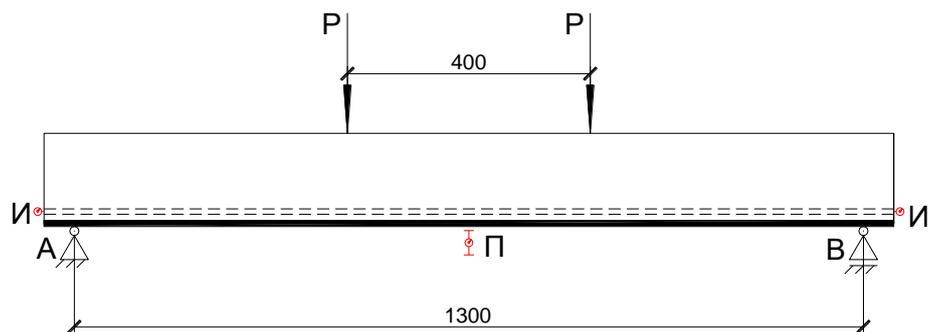


Рисунок 1. – Конструктивные схемы экспериментальных образцов ( $a = 150\text{мм}$ )

Для приготовления экспериментальных образцов используются инвентарные сборно-разборные металлические формы. Уплотнение бетонной смеси при укладке осуществляется с помощью глубинного вибратора. А после распалубки хранится в естественных условиях. Испытание бетонных образцов будет проходить по стандартным методикам по ГОСТ 24452 [12]. Испытание планируется провести на разрывной машине ИР 6055-500-0.

Железобетонную балку нагружают двумя сосредоточенными силами так, чтобы образовалась зона чистого изгиба. Балку помещают на две опоры, одна из которых шарнирно-подвижна, а другая шарнирно-неподвижна (рисунок 2). Перед проведением испытания замеряют размеры поперечного сечения балки, пролет, расстояния от опор до мест приложения сосредоточенной нагрузки, а после испытания уточняют рабочую высоту сечения и защитный слой бетона. Целью проводимых экспериментальных исследований являются выявление особенностей работы железобетонных изгибаемых элементов, определение прочности, трещиностойкости и жесткости опытных образцов, оценка динамичности развития трещин в балке, изучение деформаций по высоте поперечного сечения балки, определение прогибов балки. Балку загружают ступенями, не превышающими 10 % от разрушающей нагрузки, до условного уровня эксплуатации, равного  $0,8 \cdot P_{разр}$ . После этого величину ступени уменьшают до 5 %. После каждой ступени приложения нагрузки для возможности проявления пластических деформаций делается пятидесятиминутная выдержка под нагрузкой. При величине нагрузки, равной  $0,8 \cdot P_{разр}$ , производится выдержка не менее 30 мин при монотонном нагружении образца. Отсчеты по приборам снимают дважды: непосредственно после приложения очередной ступени нагрузки и после выдержки [13]

Деформации бетона по высоте балки измеряют при помощи тензорезисторов на базе 50 мм, а также индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм. Деформации арматуры определяют путем наклеивания тензорезисторов с базой 20 мм на арматурный стержень до бетонирования. Прогибы образца фиксируются прогибомером и индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм посередине пролета и на опорах. Ширина раскрытия трещин замеряется прибором МПБ-2 с 24-кратным увеличением и ценой деления 0,05 мм. Схема установки приборов приведена на рисунке 2.



И – индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм;  
 П – прогибомер с ценой деления 0,01 мм.

Рисунок 2. – Схема испытательной установки

**Заключение.** Полученные результаты позволят судить о сцеплении арматуры серповидного профиля с керамзитобетонном.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Domagała, L. Size effect in compressive strength tests of cored specimens of lightweight aggregate concrete / L. Domagała // Materials. – 2020. – Vol. 13, iss. 5. – P. 1187.
2. Clarke, J. L. Structural lightweight aggregate concrete / J. L. Clarke. – Glasgow ; UK : Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, 2005. – 161 p.
3. Chandra, S. Lightweight aggregate concrete. Science, Technology, and Applications / S. Chandra, L. Berntsson. – New York, U.S.A. : Noyes Publications. William Andrew Publishing, 2002. – 407 p.
4. Semenyuk, S. D. Calculation Method for the Formation of Microcracks Taking Into Account the Density of Claydite Concrete / S. D. Semenyuk, Yu. G. Moskal'kova // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – Voronezh: VSTU, 2019. – Issue No 1 (41). – Pp. 59–67. – Available at: <http://vestnikvgasu.wmsite.ru/Issues/issue-1-41-2019>.
5. Maskalkova Y. G. The Effective Reinforcement Ratio of Expanded Clay Concrete by Polypropylene Fiber / Y. G. Maskalkova, V. A. Rzhhevutskaya // Construction of Unique Buildings and Structures. – Volume 93. – No. 83 (8). – 2020. – Article No 9003. – doi: 10.18720/CUBS.93.3. – Режим доступа: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2020.93.3/>.
6. Семенюк, С. Д. Методики определения границ микротрещинообразования / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова // Строительство уникальных зданий и сооружений. Construction of Unique Buildings and Structures. – Санкт-Петербург: СПбПУ, 2018. – № 7 (70). – С. 22–30. – ISSN 2304-6295. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40650127>.
7. Effect of lightweight aggregates on the mechanical properties and brittleness of lightweight aggregate concrete / H. Z. Cui [et al.] // Construction Building Materials. – 2012. – Vol. 35, iss. 10. – P. 149–158.
8. Седляр, Т.Н. Проблемы и перспективы применения арматуры серповидного профиля в легких бетонах / Т.Н. Седляр, С.Д. Семенюк // Весн. Гродз. дзярж. ун-та. Сер. 6, Тэхніка. – 2019. – № 1. – С. 110–116.
9. Рекомендации по подбору составов, изготовлению и применению модифицированных химическими и минеральными добавками конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного керамзитобетонных / РУП «Институт БелНИИС» - Минск, 2013. – 38 с.
10. Седляр, Т.Н. Алгоритм экспериментальных исследований сцепления арматуры серповидного профиля с керамзитобетонами / Т.Н. Седляр // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: в 2 ч.: сб. науч. ст. XXI междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 25–26 окт. 2018 г. / Брест. гос. техн. ун-т; под ред. В.В. Тур. (гл. ред.) [и др.]. – Брест, 2018. – Ч. 1. – С. 242–244.
11. СП 5.03.01 - 2020 Бетонные и железобетонные конструкции. – Введ. 16.11.2020. – Минск.: Минстройархитектуры, 2020. – 244 с.
12. ГОСТ 24452 – 80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – Введ. 18.11.1980. – М.: Стандартиформ, 1982. – 12 с.
13. ГОСТ 8829 -2018 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. – Введ. 01.036.2020. – Минск: Госстандарт, 2018. – 19 с.

УДК 624.012.85

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ ПО ДЕЙСТВУЮЩИМ ТНПА РБ И РАЗНЫХ СТРАН

А.Е. Шилов<sup>1</sup>, Е.Г. Чечуха, О.А. Янушкевич

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [shilov@bnty.by](mailto:shilov@bnty.by)

*Расчёт железобетонных колонн напрямую зависит от принятой конструктивной схемы здания, т. е. типа каркаса, в свою очередь в зависимости от которого назначаются все параметры колонн, их расчётные длины, фактические и предельные гибкости. Определение типа каркаса, как и подходы, по которым данный тип каркаса относится к тому или иному виду, различаются по нормам разных стран. При проектировании зданий и сооружений расчет на прочность является недостаточным, чтобы судить об их надежности. Чаще решающим фактором, определяющим несущую способность, становится возможность потери устойчивости сооружения в целом или же отдельных его элементов.*

**Ключевые слова:** железобетонная колонна, потеря устойчивости, гибкость, минимальный процент армирования, конструктивные требования.

## FEATURES OF CALCULATION AND CONSTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS OF FRAME BUILDINGS ACCORDING TO EXISTING TNLA RB FROM DIFFERENT COUNTRIES

A. Shilov<sup>1</sup>, E. Chechukha, O. Yanushkevich

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [shilov@bnty.by](mailto:shilov@bnty.by)

*The calculation of reinforced concrete columns directly depends on the adopted structural scheme of the building, that is, the type of frame, in turn, depending on which all the parameters of the columns, their calculated lengths, actual and ultimate slenderness are assigned. The definition of the type of frame, as well as the approaches according to which this type of frame belongs to one or another type, differ according to the norms of different countries. When designing buildings and structures, the strength calculation is insufficient to judge their reliability. More often, the decisive factor determining the bearing capacity is the possibility of loss of stability of the structure as a whole or of its individual elements.*

**Keywords:** reinforced concrete column, buckling, flexibility, minimum percentage of reinforcement, design requirements.

В настоящее время в РБ большинство каркасных зданий возводится в железобетоне. Одними из основных несущих конструкций являются колонны. При проектировании зданий и сооружений расчет на прочность является недостаточным, чтобы судить об их надежности. Чаще решающим фактором, определяющим несущую способность, становится возможность потери устойчивости сооружения в целом или же отдельных его элементов.

Железобетонная колонна является элементом пространственной системы каркаса здания, при деформировании которого проявляется физическая нелинейность, обусловленная неупругими деформациями бетона и развитием трещин, а также геометрическая нелинейность, характеризующаяся влиянием продольных сил на деформации, а, следовательно, и на возникающие усилия в системе. Эффект возрастания усилий за счет геометрической нелинейности конструкции, называют эффектами второго порядка, или Р-Δ эффектами.

Расчёт железобетонных колонн напрямую зависит от принятой конструктивной схемы здания, т. е. типа каркаса, в зависимости от которого назначаются все параметры колонн, их расчётные длины, фактические и предельные гибкости.

Определение типа каркаса, как и подходы, по которым данный тип каркаса относится к тому или иному виду, различаются по нормам разных стран.

Различают следующие типы каркасов в зависимости от принятого ТНПА:

1. Начиная с 16.09.2020 г. на территории РБ утверждены и введены в действие постановлением Министерства архитектуры и строительства № 56 строительные правила СП 5.03.01-2020 “Бетонные и железобетонные конструкции” [1]. Нормы введены впервые с отменой на территории РБ СНБ 5.03.01-02. Многие положения наших национальных норм гармонизированы с Еврокодом-2.

При этом отдельные положения, в частности по определению коэффициента продольного изгиба, приняты по нормам бывшего СССР и действующим нормам РФ. Подход к определению типа каркаса аналогичен положениям Еврокода-2. [2]

2. В ТКП EN 1992-1-1-2009\* [2] приняты следующие типы каркасов:

– раскреплённые элементы или системы: конструктивные элементы или подсистемы, для которых при расчёте и проектировании принято, что они не способствуют общей горизонтальной устойчивости конструкции;

– раскрепляющие элементы и системы: конструктивные элементы или подсистемы, для которых при расчёте и проектировании принято, что они способствуют общей горизонтальной устойчивости конструкции.

Рекомендации (численные эквиваленты), согласно которым тот или иной элемент следует относить к раскреплённым или раскрепляющим элементам, не даны. Таким образом, выбор той или иной системы полностью основан на предположениях и допущениях, закладываемых проектировщиком в работу каркаса.

3. В СП 63.13330.2018 [3] нет информации по назначению типа или элементов каркаса.

4. В американских нормах ACI 318-95 [4] различают:

– несмещаемые каркасы – каркасы, имеющие связевые элементы, или без них, в которых влияние перемещения узлов на расчетные моменты и усилия незначительно (не превышает 5%);

– смещаемые каркасы – каркасы, которые не являются несмещаемыми.

Согласно [4], перед тем, как приступить к расчёту колонны, следует в первую очередь определить тип каркаса.

Раньше каркасные здания представлялись в виде пилонов – диафрагм с примыкающими колоннами, а также отдельных колонн, объединённых жёсткими дисками перекрытий. В качестве обычных упрощений принималось, что диски перекрытий абсолютно жёсткие; деформации сдвига в швах между сборными конструкциями учитывались приближёнными коэффициентами; в открытых диафрагмах крутильная жёсткость не учитывалась, а в закрытых – принималось, что жёсткость при стеснённом кручении мала, по сравнению с таковой при свободном кручении; масса здания равномерно распределялась по объёму и т.д.

В работе [5] отмечается, что сегодня в практике проектирования стали использовать программные комплексы, реализующие конечно-элементные модели, которые позволяют с единых методологических позиций рассчитывать здания разнообразных конструктивных схем, состоящие из стержневых и плоских элементов, сгруппированных в любых сочетаниях. Сейчас имеется возможность задавать достаточно сложные конфигурации и схемы зданий, моделировать различные сопряжения элементов с применением сложных пространственных шарниров и связей и т.д. При этом, однако, значительно усложнилась подготовка исходных данных и соответственно потребовалась высокая квалификация пользователей, повышенные требования к пониманию ими характера работы конструкций и узлов под нагрузкой и теоретических расчётных положений, положенных в основу программных комплексов. К сожалению, трудно выявить ошибки в форми-

ровании расчётных схем, связей и т.п., несмотря на большое количество вспомогательных инструкций и руководств, но эти ошибки могут привести к аварийным ситуациям на объектах, о чём постоянно напоминают, как авторы программ, так и реальная практика проектирования и эксплуатации зданий и сооружений.

Методика необходимости и учёта эффектов второго порядка при расчёте сжатых железобетонных элементов по нормам Республики Беларусь, Российской Федерации, Европейского союза и нормам США имеет свои особенности и различия. На сегодняшний день нет необходимой статистики результатов применения методов учёта эффектов второго порядка при расчёте сжатых железобетонных элементов по нормам Республики Беларусь, Российской Федерации, Европейского союза и США их анализу.

В работах [10], [11] был выполнен сравнительный анализ результатов определения необходимости учёта продольного изгиба при одних и тех же исходных характеристиках и параметрах колонн по нормам разных стран. Результат оказался в определенных ситуациях противоречивым, что в большинстве случаев было связано с определением критерия предельной гибкости  $\lambda_{lim}$  по нормам РБ, РФ и Евросоюза.

Согласно п. 5.8.3.1 [2], эффекты второго порядка могут не учитываться, если фактическая гибкость  $\lambda$  меньше предельного значения  $\lambda_{lim}$ :

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}}$$

где:

$$n = \frac{N_{ED}}{A_c \cdot f_{CD}}$$

$n$  – относительное продольное усилие.

$$1. A = \frac{1}{1 + 0.2\varphi_{ef}}, \text{ рекомендационное значение } A=0,7;$$

где  $\varphi_{ef}$  – эффективный коэффициент ползучести.

Уточнение определения коэффициента ползучести по номограммам [2], либо по таблице 4.1.2 [1] может привести к изменению коэффициента  $A$  в пределах до 10 %.

$$2. C = 1,7 - r_m, \text{ рекомендационное значение } C=0,7;$$

где  $r_m$  – отношение моментов;

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}$$

$M_{01}, M_{02}$  – моменты на концах элемента с учетом эффектов первого порядка;

По приведенной выше формуле, можно сделать вывод о том, что коэффициент  $C$  имеет значительный диапазон изменения, а именно от 0,7 до 2,7. Это связано с тем что, если моменты на концах элемента  $M_{01}, M_{02}$  дают растяжение с одной и той же стороны, то  $r_m$  принимается как положительное значение т. е. в этом случае  $C \leq 1,7$ , если растяжение с разных сторон, то как отрицательное, при этом  $C > 1,7$

$$3. B = \sqrt{1 + 2\omega}; \text{ рекомендационное значение } B=1,1;$$

где  $\omega$  – механический коэффициент армирования;

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

Величина  $\lambda_{lim}$  зависит от коэффициентов  $A, B, C$ , определение которых расчетом является относительно трудоёмкой, но реализуемой задачей.

Следует отметить что рекомендации по определению  $\lambda_{lim}$  в источнике [1] аналогичны положениям источника [2]. Разница лишь в условных обозначениях коэффициентов.

В работе [9] выполнен анализ критерия гибкости  $\lambda_{lim}$ , определенного по назначаемым (рекомендационным) значениям коэффициентов **A, B, C** и по расчету в соответствии с рекомендациями [2]. В результате было установлено, что возможны “переходные” ситуации в необходимости учета продольного изгиба, в которых целесообразен именно “расчетный” вариант определения **A, B, C**, а не рекомендационный. В качестве примера на рисунке 1 приведена одна из гистограмм изменения величин  $\lambda_{lim}$  и  $\lambda$  (фактическое значение).

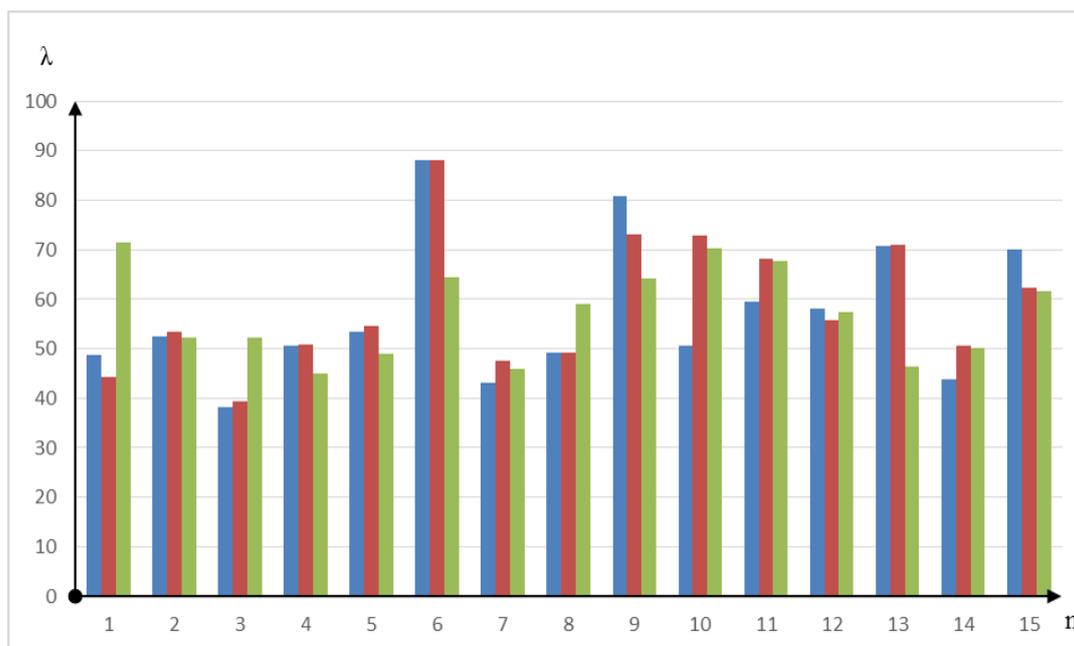


Рисунок 1. – Гистограмма изменения значений  $\lambda_{lim}$  и  $\lambda$  (фактическое значение) для колонн, где  $n$  - варианты исходных данных;  $\lambda_{lim}$  - величина предельной гибкости с учетом вычисления всех коэффициентов (A, B,C);  $\lambda_{lim}$  (при A=0,7; B=1,1) – величина предельной гибкости с учетом рекомендуемых значений коэффициентов A, B

При этом выявлено, что основное влияние на изменение величины  $\lambda_{lim}$  оказывает уточнение коэффициента **B**, зависящего от механического коэффициента армирования  $\omega$  (рисунок 2), т.е. от предварительно назначаемой площади продольной арматуры колонны.

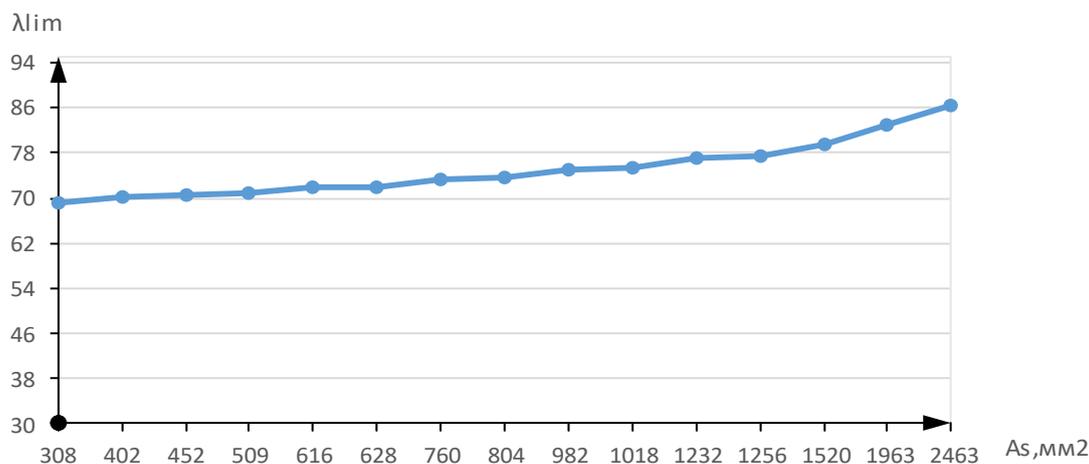


Рисунок 2. – График зависимости предельной гибкости  $\lambda_{lim}$  от  $A_s$

Назначение  $A_s$  по рекомендуемым минимальным значениям, т.е. по  $A_{s,min}$ , по нормам [1], [2], [3] во всех выполненных расчетных ситуациях оказалось неприемлемым. Оптимальный результат был получен только в результате определенного количества итераций по назначению  $A_s$ .

Для того, чтобы уменьшить количество таких итераций, многие источники предлагают назначение площади арматуры колонн по графическим зависимостям. В работе [9] были проанализированы предложения и рекомендации различных источников, при этом было выявлено, что для принятых исходных данных колонн наиболее оптимальная "сходимость" достигалась при использовании графических зависимостей представленных на рисунках 3-5.

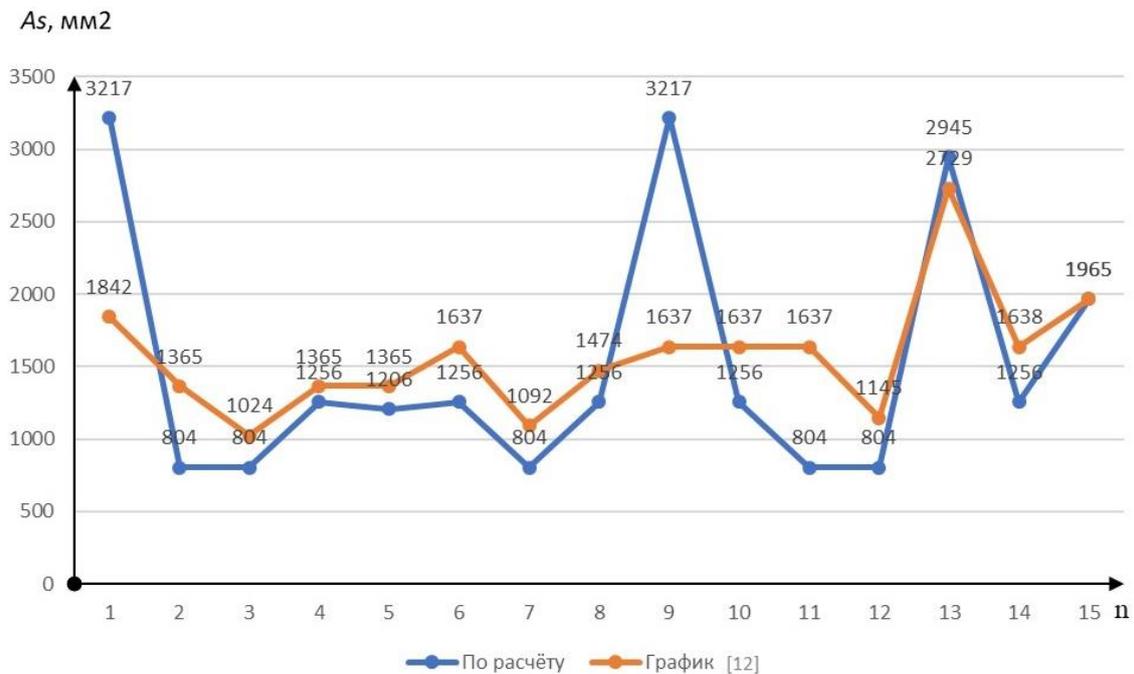


Рисунок 3. – График изменения значений продольного армирования  $A_s$  по графику из источника [12], где  $n$  - варианты исходных данных

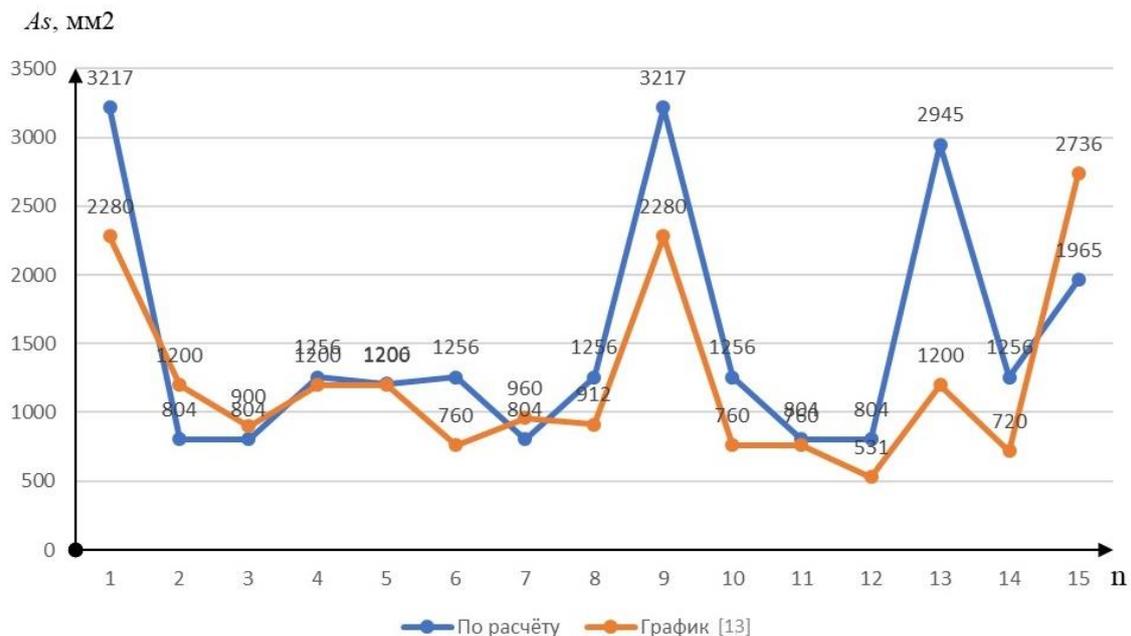


Рисунок 4. – График изменения значений продольного расчетного армирования  $A_s$  части по графику из источника [13], где  $n$  - варианты исходных данных

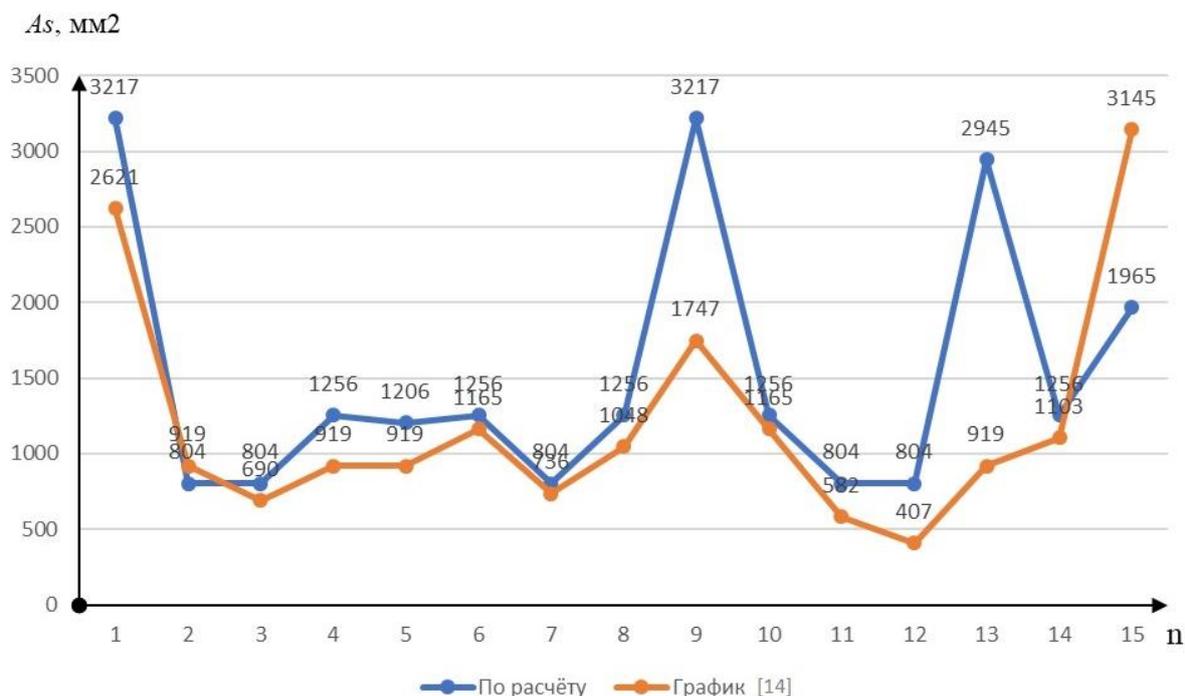


Рисунок 5. – График значений продольного армирования  $A_s$  по графику из источника [14], где  $n$  - варианты исходных данных

Подход к определению значения  $\lambda_{lim}$  в нормах других стран различен и более прост.

В нормах РФ [3], согласно п.7.1.8 и 8.1.12, при гибкости элементов  $\lambda$  более 14 необходимо учитывать влияние на их несущую способность прогибов путем умножения значения  $e_0$  на коэффициент продольного изгиба  $\eta$ , определенный по формуле Тимошенко согласно п.7.1.11.

В нормах США [4], а так же в отменённом на сегодняшний день СНБ 5.03.1-2, для колонн смещаемых каркасов влияние продольного изгиба следует учитывать при  $\lambda$  более 22, для несмещаемых каркасов – по формуле (10-7), а именно:  $\lambda > 34 - 12 M_{min} / M_{max}$ , т.е. для несмещаемых каркасов  $\lambda_{lim}$  зависит только от соотношения моментов по концам элементов.

Методики учета продольного изгиба в случае превышения фактической гибкости  $\lambda$  значения  $\lambda_{lim}$  в источниках [1] и [2] имеют свои особенности и различия, а именно:

- в СП 5.03.01-2020. [1], согласно п. 8.1.6.1, коэффициент  $\eta_a$ , учитывающий влияние продольного изгиба (прогиба) элемента на его несущую способность определяют по известной формуле Тимошенко. Условная критическая сила  $N_{crit}$  определяется по формуле Эйлера с учетом номинальной жесткости.

- в ТКП EN 1992-1-1-2009\* [2] согласно п.5.8.5, методы расчета с учетом эффектов второго порядка включают общий метод, основанный на нелинейном расчете и следующие два упрощенных метода:

- метод основанный на номинальной жёсткости;
- метод основанный на номинальной кривизне;

В зависимости от принятого метода по [2] определяется соответствующий коэффициент увеличения момента.

Окончательный результат проектирования колонн принимается с обязательным учетом всех соответствующих конструктивных требований, в том числе и по назначению минимального процента армирования ( $\rho_{min}$ ). Следует отметить, что и по этому вопросу в нормах РБ, Евросоюза и РФ имеются различия и свои особенности.

В работе [10] выполнен анализ изменения величин  $\rho_{\min}$  по нормам РБ, РФ и Евросоюза для колонн одноэтажных промышленных зданий. В результате было выявлено, что изменение величины  $A_{s,\min}$  в зависимости от рекомендаций вышеуказанных норм находится в пределах 5-15 %.

Представленная статья является обзорно-аналитической. Проработка вопросов и затронутых проблем, связанных с расчётом железобетонных колонн в зависимости от типа каркаса здания требует дальнейших исследований, анализ которых поможет выявить преимущества и недостатки различных ТНПА и их положений с учетом особенности нынешней ситуации, заключающейся в том, что в настоящий момент на территории РБ одновременно действуют СП 5.03.01-2020. [1] и ТКП EN 1992-1-1-2009\* [2].

Работа в этом направлении в настоящее время продолжается авторами статьи, результаты которой, после тщательного анализа полученных данных, позволяющего сделать конкретные, обоснованные выводы и рекомендации, будут опубликованы.

Неоспоримо, что нормы должны обеспечивать требуемую надежность, однако при этом они также должны быть максимально просты и репрезентативны для практики. Один из основоположников кибернетики У. Эшби утверждал: “Я убежден, что в будущем теоретик должен стать экспертом по упрощению”.

Чем больше будет исследований по практике применения ТНПА РБ, РФ и Евросоюза, тем раньше будет установлен баланс между нормативными требованиями и практической стороной их реализации, а также будет продолжаться необходимый процесс совершенствования ТНПА РБ, что безусловно позволит обеспечить и повысить надежность проектируемых зданий и сооружений в нашей стране.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СП 5.03.01-2020. Бетонные и железобетонные конструкции. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2020. – 236 с.
2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009\* (02250). Еврокод 2 / М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2015. – 205 с.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Министерство региональной федерации РФ, 2012. – 159 с.
4. ACI 318: Building Code Requirements for Reinforced Concrete.
5. Казачёк, В. Г. Особенности расчета железобетонных каркасных зданий с учетом требований действующих норм Республики Беларусь / В. Г. Казачек, А. Е. Шилов, Е. Л. Коршун // Строительная наука и техника: научно-технический журнал. – 2010. – № 5. – С. 25-30.
6. Шилов, А. Е. Особенности учета эффектов второго порядка при расчете сжатых железобетонных элементов по ТКП EN-1992-1-1-2009\* / А. Е. Шилов, В. В. Мезен // Инновационная подготовка инженерных кадров на основе европейских стандартов (Еврокодов): материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 30 мая 2017 г.) / [редколлегия: В. Ф. Зверев, С.М. Коледа]. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 160-166.
7. Шилов, А. Е. К расчету железобетонных колонн каркасных зданий по ТНПА разных стран / А. Е. Шилов, Е. Г. Чечуха // Проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 28 мая 2020 г. / редкол.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 160-163.
8. Янушкевич, О. А. К расчету сборных сжатых железобетонных элементов по ТКП EN 1992-1-1-2009 / О. А. Янушкевич; науч. рук. А. Е. Шилов // Современные методы расчетов и обследований железобетонных и каменных конструкций: материалы 74-й студенческой научно-технической конференции, 23 мая 2018 г. / редкол.: В. Ф. Зверев, А. А. Хотько, С. М. Коледа. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 51-61.
9. Янушкевич О.А. Особенности расчёта и конструирования сборных железобетонных конструкций по нормативным документам Евросоюза: дис. на соискание степени магистра техн. наук: 2018 / О.А. Янушкевич. – Минск, 2018. – 71 с.

10. Чечуха, Е. Г. Сравнительный анализ результатов расчета сборных железобетонных колонн ОПЗ по различным ТНПА / Е. Г. Чечуха; науч. рук. А. Е. Шилов // Современные методы расчетов и обследований железобетонных и каменных конструкций: материалы 74-й студенческой научно-технической конференции, 23 мая 2018 г. / редкол.: В. Ф. Зверев, А. А. Хотько, С. М. Коледа. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 48-51.
11. Чечуха, Е. Г. Особенности расчета каркасов зданий по ТНПА разных стран / Е. Г. Чечуха; науч. рук. А. Е. Шилов // Современные методы расчетов и обследований железобетонных и каменных конструкций: материалы 75-й студенческой научно-технической конференции, Минск, 23 мая 2019 г. / редкол.: В. Ф. Зверев, А. А. Хотько, С. М. Коледа. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 97-100.
12. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры. – М.: ЦНИИПРОМЗДАНИЙ и НИИЖБ, 2005. – 304 с.
13. How to Design Concrete Structures using Eurocode 2 / A.J. Bond [et al]; editor A.J. Bond. – Surrey: The Concrete Centre, Surrey, 2006. – 100 ps.
14. Narayanan R.S. Concise Eurocode 2 / R.S. Narayanan, C.H. Goodchild; editor R.S. Narayanan. – Surrey: The Concrete Centre, Surrey, 2006. – 219 ps.

УДК 624.012.36:311.214

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТЕРЖНЕВОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИД.О. Глухов, Д.Н. Лазовский<sup>2</sup>, Т.М. Глухова<sup>3</sup>

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [d.gluhov@psu.by](mailto:d.gluhov@psu.by); <sup>2</sup> [d.lazovski@psu.by](mailto:d.lazovski@psu.by); <sup>3</sup> [t.gluhova@psu.by](mailto:t.gluhova@psu.by)

*В работе рассмотрены особенности вероятностного расчета нелинейной пространственной стержневой конечно-элементной модели статически неопределимой железобетонной конструкции. Показано, что на перераспределение усилий существенно влияют жесткости всех конечных элементов конструкции, особенно конечные элементы, моделирующие протяженные участки трещинообразования. Данный метод нелинейного моделирования более точно отражает действительную работу статически неопределимой железобетонной конструкции по сравнению с применением упрощенных моделей, основанных на использовании специальных «точечных» конечных элементов, реализующих концепцию пластических шарниров. Сделан вывод о фундаментальном свойстве кластеризации пространства состояний железобетонной конструкции, что приводит к кластеризации вероятностных распределений моделей внутренних усилий в сечениях конструкции. Разработаны метод, алгоритмы и программное обеспечение нелинейного вероятностного моделирования пространственных стержневых железобетонных конструкций.*

**Ключевые слова:** конструкция, моделирование, метод, алгоритм, программное обеспечение, перераспределение усилий.

ALGORITHMS AND SOFTWARE FOR STATISTICAL MODELING  
OF A SPATIAL ROD FINITE ELEMENT MODELD. Glukhov<sup>1</sup>, D. Lazovsky<sup>2</sup>, T. Glukhova<sup>3</sup>

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [d.gluhov@psu.by](mailto:d.gluhov@psu.by); <sup>2</sup> [d.lazovski@psu.by](mailto:d.lazovski@psu.by); <sup>3</sup> [t.gluhova@psu.by](mailto:t.gluhova@psu.by)

*The paper considers the features of the probabilistic calculation of a nonlinear spatial bar finite element model of a statically indeterminate reinforced concrete structure. It is shown that the redistribution of efforts is significantly influenced by the stiffness of all finite elements of the structure, especially the finite elements that simulate extended areas of cracking. This method of nonlinear modeling more accurately reflects the actual operation of a statically indeterminate reinforced concrete structure compared to the use of simplified models based on the use of special "point" finite elements that implement the concept of plastic hinges. A conclusion is made about the fundamental property of clustering the state space of a reinforced concrete structure, which leads to the clustering of probability distributions of models of internal forces in sections of the structure. A method, algorithms and software for nonlinear probabilistic modeling of spatial bar reinforced concrete structures have been developed.*

**Keywords:** design, modeling, method, algorithm, software, redistribution of efforts.

Прочность статически неопределимых железобетонных конструкций и перераспределение усилий между элементами конструкции или ее зонами в стадии разрушения, когда арматура

начинает проявлять свои пластические свойства, определяется прочностью наиболее напряженных зон конструкции. При этом не обязательно знать историю работы конструкции под нагрузкой. Зона конструкции, в которой растянутая арматура достигает предела текучести, ведет себя как пластический шарнир, допуская поворот примыкающих к этой зоне частей конструкции при постоянной величине внутренних усилий. Другие зоны конструкции идеально упруги, их жесткость постоянна. Применимы принципы строительной механики упругих систем. Для оценки прочности железобетонных конструкций такой подход давал удовлетворительные результаты. При этом эксплуатационные характеристики железобетонной конструкции (деформативность и трещиностойкость) на промежуточных этапах работы конструкции оценивались приближенно с использованием большого количества эмпирических коэффициентов. Однако железобетон не обладает идеально упругими свойствами. Неупругие деформации начинают появляться в результате ползучести бетона растянутой и сжатой зон при длительном действии нагрузки, образования трещин в растянутой зоне, перераспределения усилий между арматурой и бетоном растянутой зоны в сечении с трещиной, появления неупругих деформаций в растянутой арматуре до достижения предела текучести. При этом жесткость стержневого элемента значительно уменьшается. [1]

Применения пластических шарниров, как инструмента моделирования физически-нелинейных эффектов, устойчиво вошло в практику проектирования и зафиксировано в строительных нормах многих стран (например, в современных строительных нормах США пластические шарниры рекомендуется применять при формировании расчетных схем для расчета на прогрессирующее обрушение и сейсмические воздействия) [3].

Чтобы избежать чрезвычайной ресурсоемкости данного метода при его применении ко всем конечным элементам расчетной схемы, модель пластического шарнира реализуется как отдельный специальный стержневой изгибаемый конечный элемент с переменной жесткостью. При такой реализации физически-нелинейной модели требуется очень аккуратно подходить к решению ряда вопросов:

1. Выбор мест установки специальных конечных элементов, моделирующих пластические шарниры (места наиболее вероятного появления трещин с учетом шага трещин, узлы стыков колонн и балок, и др.);
2. Задание зависимости жесткости элемента от величины внутренних усилий;
3. Выбор степени детализации модели.

Применение упрощенных моделей позволяет ускорить алгоритмы расчета конечно-элементной модели, что важно, в частности, при решении задач расчета на прогрессирующее обрушения. [2, 4, 5]

Возможности учета пластических свойств материалов реализованы в ряде программных комплексов, в частности Robot, SAP2000, Etabs, Лира, что существенно упрощает задачу проектировщика.

В идеализированном случае шарниры задаются только по угловой степени свободы, соответствующей изгибающему моменту. Для более точной модели используются сложные пластические шарниры с зависимостью жесткости от поперечной силы и крутящего момента. [6, 7]

В рамках проведенного исследования нами разработан модуль получения зависимости жесткости от комбинации усилий: изгибающих моментов в двух плоскостях  $M_x$ ,  $M_y$ , продольного  $N$  и поперечного  $V$  усилий.

Жесткость железобетонного элемента определяется интегрированием:

$$EJ_y = - \int \int_c E(x, y) (y - y_0)^2 dx dy \quad (1)$$

Основное уравнение метода конечных элементов для вычисления перемещений имеет вид:

$$\{\delta\} = [K]^{-1} \{F\}, \quad (2)$$

где  $\{\delta\}$  – вектор перемещений;  $\{F\}$  – вектор внешней нагрузки;  $[K]$  – матрица жесткости системы.

В методе конечных элементов матрица жесткости  $[K]$  формируется на основании матрицы физических жесткостей  $[k]_j$  и вектора реакций  $\{f\}_j$   $j$ -ого стержня системы, вычисляемых для каждого конечного элемента. Задача нелинейного расчета железобетонных конструкций сводится к решению системы алгебраических уравнений с переменными (нелинейными) коэффициентами. Решение нелинейной системы определяется в виде сходящейся последовательности решения линейных задач. Такая идея одним из первых была применена А.А. Ильюшиным [9] для решения задачи теории пластичности и получила название метода упругих решений.

В основу принятого нами метода расчета железобетонных конструкций положена гипотеза о том, что нелинейное деформирование железобетонных несущих каркасов зданий может быть представлено в виде итерационного процесса, включающего в себя два независимых алгоритма: метод конечных элементов и деформационную модель железобетонного сечения. Данный метод получил свое развитие в диссертационной работе О.Н. Лешкевича и реализован в программном комплексе RADUGA & БЕТА, расчетом по которому могут быть получены значения усилий на произвольной стадии нагружения всех характерных поперечных сечений конструкции. [8, 9, 10, 11]

В рамках настоящего исследования итерационный метод был усовершенствован за счет введения процедуры фиксации сниженной жесткости элемента с трещиной и повышения дискретности модели, для более точного выявления участков трещинообразования. Наилучшим образом модель работает, когда размер конечного элемента равен среднему расстоянию между трещинами.

Для учета геометрической нелинейности деформирования элементов железобетонных конструкций наибольшее распространение получили две теории: теория больших перемещений и малых деформаций, и теория больших перемещений и больших деформаций. В первом случае рассматриваются геометрически нелинейные эффекты, вызванные приобретением и увеличением эксцентриситетов действующих в элементах продольных сил. Во втором случае учитывается также искривление и продольные деформации осей и срединных поверхностей элементов, вызывающих изменение расстояний между узлами. Однако, как было показано в [9], влияние смещения узлов на напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в пределах допустимых деформаций крайне мало, в пределах погрешности расчета и, для реализации геометрически нелинейного расчета, можно использовать только теорию больших перемещений и малых деформаций.

Компоненты эксцентриситета продольной оси от действия продольной силы вычисляются на основании уже известных касательных модулей упругости каждой элементарной площадки:

$$\begin{cases} \Delta_x = \frac{\iint E(x, y)(x - x_o) dx dy}{E(x, y) dx dy} \\ \Delta_y = \frac{\iint E(x, y)(y - y_o) dx dy}{E(x, y) dx dy} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $E(x, y)$  – касательный модуль деформации в точке  $(x, y)$ .

С целью реализации предложенной конечно-элементной модели в рамках исследования разработана библиотека функций по формированию, расчету и визуализации результатов расчета пространственных стержневых конструкций.

В разработанной системе имеется возможность проведения статистического моделирования железобетонной конструкции с целью определения надежности конструктивного решения. Статистическое моделирование выполняется по следующему алгоритму:

1. Сбор нагрузок, как случайных величин и назначение их конечным элементам расчетной схемы.
2. Выполнение линейного или нелинейного расчета заданное количество раз с генерированием нагрузки генератором псевдослучайной последовательности соответствующей заданному закону распределения и накоплением коллекций внутренних усилий.
3. Анализ коллекций усилий с целью определения закона распределения усилий в конечных элементах или параметров смеси нормально распределенных случайных величин.
4. В программе R-Beta v5.0 конструирование сечения железобетонного элемента с изменчивостью геометрических и прочностных характеристик.
5. Проведение численного эксперимента по оценки надежности анализируемого сечения при заданном распределении усилий.

Закон распределения нагрузки задается путем создания в программном коде соответствующего объекта, разработанного нами класса Random:

```
Random r1(9.6, 4);
```

Далее в цикле статистического моделирования генерирование конкретной реализации выполняется вызовом метода, соответствующего распределения:

```
double p1 = -r1.generateLogNormal();
double F = -r4.generateNormal();
```

Формирование модели выполняется с назначением полученных реализаций случайных величин:

```
//          длина      распределенная нагрузка      #сечения      узловые нагрузки      ограничения опирания
fes.push_back(FE(6,      p1,                          4,              0, F,              1, 1, 0, 0));
fes.push_back(FE(5,      p1,                          3,              0, 0,              0, 0, 1, 0));
fes.push_back(FE(4,      p1,                          2,              0, 0,              0, 0, 1, 0));
```

Результатом статистического моделирования является случайная эпюра моментов, продольных и перерезывающих сил и окно анализа распределения усилий в выбранном конечном элементе (см. рисунок 3).

При нелинейном моделировании конструкции конечными элементами переменной жесткости методом последовательных нагружений до заданного значения величин нагрузок нами было замечено, что распределение усилий в сечении становится фундаментально не гауссовым. Даже в самом простом случае воздействия на систему равномерно распределенной нагрузки, имеющей нормальный закон распределения, что показано на рисунке 1.

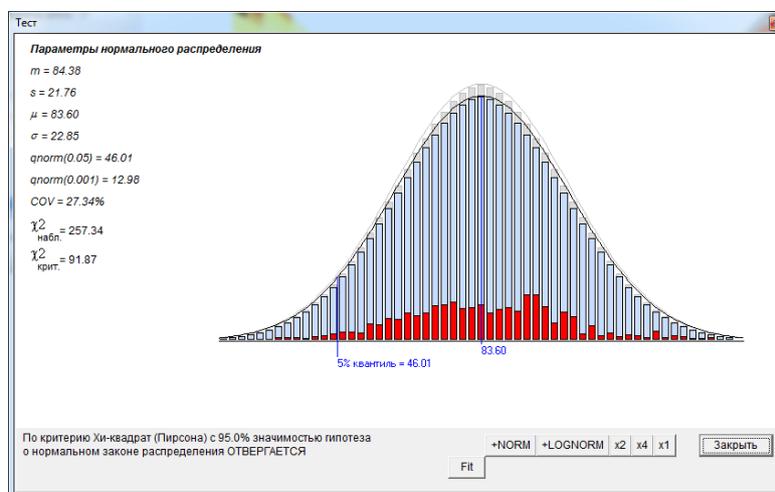


Рисунок 1. – Несостоятельность гипотезы о нормальном распределении изгибающего момента в сечении, возникающего от действия равномерно распределенной нагрузки 7кН, имеющей нормальный закон распределения

Можно было бы предположить, что такая картина является следствием недостаточного объема выборки при проведении статистического моделирования, однако увеличение объема выборки до 6000 численных экспериментов не только не изменило картины, но и показало, что форма распределения в виде нескольких максимумов сохраняется (см. рисунок 2).

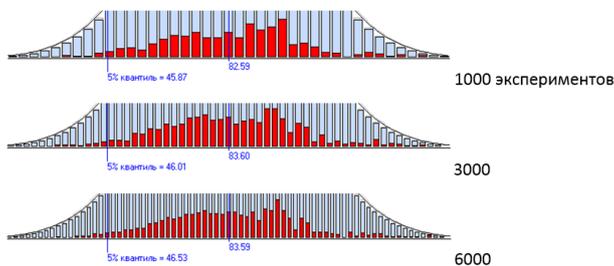


Рисунок 2. – Сохранение формы вероятностного распределения изгибающего момента от действия равномерно распределенной нагрузки 7кН, имеющей нормальный закон распределения, при росте количества численных экспериментов

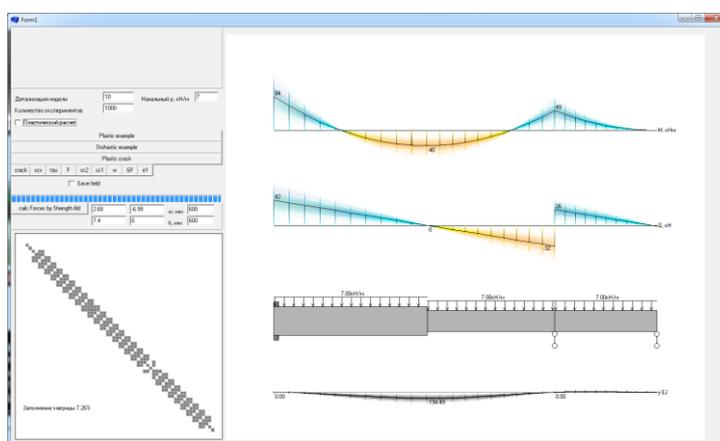


Рисунок 3. – Вероятностная форма эпюры моментов, соответствующей перерезывающей силы и прогиба на примере многопролетной неразрезной балки

Эксперименты показали, что такая форма распределения хорошо согласуется с Гауссовой смесью, а, следовательно, может быть разделена на отдельные кластеры, для оценки надежности по каждой составляющей смеси в отдельности.

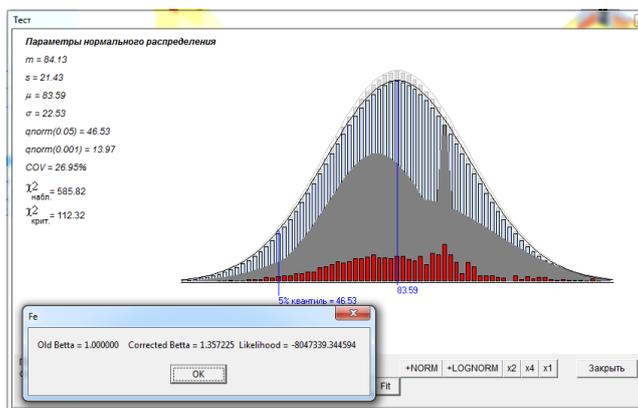
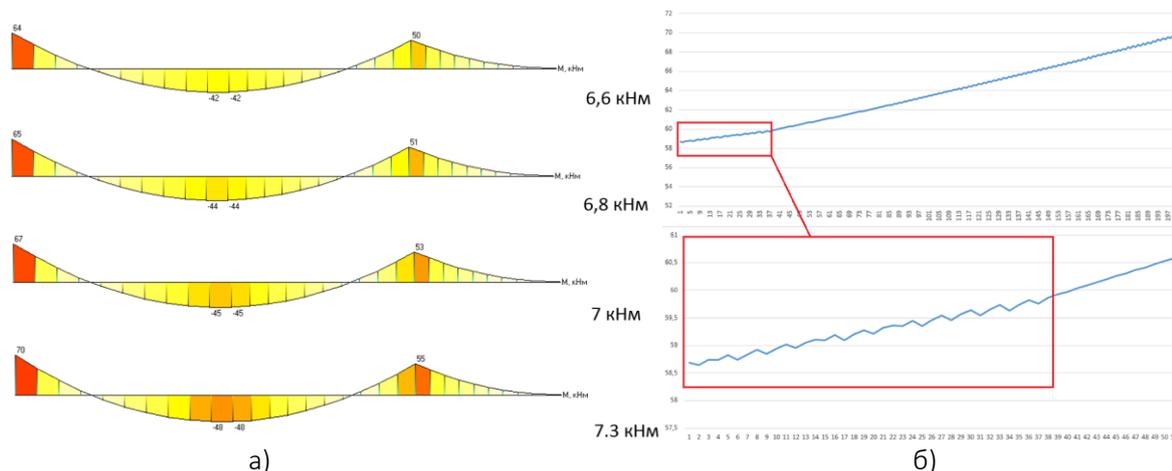


Рисунок 4. – Результат кластеризации вероятностной модели внутренних усилий (изгибающего момента) EM-алгоритмом для 3 кластеров

В чем же причины такой кластеризации системы. А дело в том, что процесс снижения жесткости конечных элементов идет не только в конкретных областях, а по всей конструкции в целом. Этот процесс в различных областях идет с различной скоростью, но особенно активно он идет на достаточно протяженных участках трещинообразования как в пролете, так и над опорными зонами. Можно сказать, что отдельные конечные элементы конкурируют между собой за влияние на процесс перераспределения усилий в конструкции. Этот процесс проиллюстрирован на рисунке 5.



а) изгибной жесткости конечных элементов (показано цветом на эпюре моментов);  
 б) изгибающего момента в сечении (кНм) для нелинейного расчета  
 (следствие перераспределения усилий в конструкции)

Рисунок 5. – Изменение при равномерном росте нагрузки

Такое «качание на качелях» перераспределения усилий и приводит к возникновению кластеров (при малых изменениях нагрузки в рамках генератора случайных чисел, система переходит ступеньку скачкообразного изменения жесткости соответствующего конечного элемента в силу процесса трещинообразования, или конкуренции групп конечных элементов). Причем, если последнюю причину можно нивелировать, уменьшая шаг последовательного нагружения, то моделирование трещинообразования сохранит систему кластеров, как фундаментальное свойство нелинейной модели строительной конструкции.

**Заключение.** В результате проведенных исследований предложен инструмент моделирования вероятностной нагрузки, подчиненной нормальному, логнормальному, экспоненциальному и гамма распределению, разработаны алгоритмы и программное обеспечение статистического моделирования пространственной стержневой конечно-элементной модели, формирующей вероятностное распределения внутренних усилий для каждого конечного элемента. Реализован алгоритм оценки индекса надежности для отдельного сечения железобетонного элемента, обладающего изменчивостью геометрических и прочностных характеристик, при воздействии на него вероятностной модели усилий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях // М: Стройиздат, 1964. – 169 с.
2. Аветисян Левон Аветисович Использование шарниров пластичности при расчете зданий на прогрессирующее обрушение в условиях огневых воздействий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sharnirov-plastichnosti-pri-raschete-zdaniy-na-progressiruyushee-obrushenie-v-usloviyah-ogneyih-vozdeystviy>.

3. UFC 4-023-03 (Including Change 2, June 2013) Unified facilities criteria. Design of buildings to resist progressive collapse. – 2005-2013.
4. Tamrazyan A.G., Avetisjan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures *Procedia Engineering*. № 153 (2016) Vol.721– 725.
5. Тамразян А. Г. Динамический расчет сжатых железобетонных элементов с учетом огневых воздействий / А. Г. Тамразян, Л. А. Аветисян // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615847. Зарегистрировано в Государственном реестре РФ программ для ЭВМ 26 мая 2015 года.
6. Kim, Dae-Jin & Son, Hong-Jun & Yi, Yousun & Hong, Sung-Gul. (2019). Generalized finite element formulation for efficient first-order plastic hinge analysis. *Advances in Mechanical Engineering*. 11. 168781401983636. 10.1177/1687814019836366.
7. Kheyroddin, Ali & Mortezaei, Alireza. (2008). The effect of element size and plastic hinge characteristics on nonlinear analysis of RC frames. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*. 32. 451-470.
8. Лешкевич О.Н. Прочность, жесткость и трещиностойкость статически неопределимых пространственных стержневых железобетонных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук. – Бр., 2003. –126 с.
9. Ильюшин А.А. Пластичность// М.– Л.: Гостехиздат, 1948.– 372с.
10. Лазовский, Д.Н. Особенности расчета статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом геометрической и физической нелинейности методом конечных элементов / Д.Н. Лазовский, Д.О. Глухов, О.Н. Лешкевич // Актуальные проблемы расчета зданий, конструкций и их частей: теория и практика: мат. междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 21-22 марта 2002 г.). – Минск: УП "Техно-принт", 2002. – С. 104-109.
11. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О., Лешкевич О.Н. Программы расчета железобетонных конструкций по проекту СНБ 5.03.01 // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров в Республике Беларусь: Сб. трудов VII междунар. науч.-практ. семинара / Под ред. Н.П. Блещика, А.А. Борисевича, Т.М. Пецольда. – Брест: БГТУ, 2001. – С. 133 – 137.

УДК 691.32-539.3/5(043.3)

## ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ БЕТОНА ВНОВЬ ВОЗВОДИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

С.Н. Леонович<sup>1</sup>, Д.А. Литвиновский<sup>2</sup>, Н.А. Будревич<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>ООО «ИнжСпецСтройПроект»

e-mail: <sup>1</sup> leonovichsn@tut.by

На основе анализа экспериментальных исследований предложены критерии хрупкости для высокопрочного бетона при высоких температурах и рекомендованы их пороговые значения, которые определяются по разработанной методике для бетона при  $t=20^\circ\text{C}$ . Новым в актуальной редакции ГОСТ 29167 является то, что определяемые по настоящему стандарту характеристики трещиностойкости применяют для оценки стойкости к воздействию высоких температур, используя силовые критерии механики разрушения – коэффициенты интенсивности напряжений при нормальном отрыве  $K_{IC}$ .

**Ключевые слова:** высокопрочный бетон, хрупкость, трещиностойкость, предел прочности, вязкость разрушения, стойкость, высокие температуры.

## ASSESSMENT OF CONCRETE RESISTANCE OF RESTORED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES TO EXPOSURE TO HIGH TEMPERATURES

S. Leonovich<sup>1</sup>, D. Litvinovsky<sup>2</sup>, N. Budrevich<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>"InzhSpetsStroyProekt"

e-mail: <sup>1</sup> leonovichsn@tut.by

On the basis of the analysis of experimental studies, brittleness criteria for high-strength concrete at high temperatures are proposed and their threshold values are recommended, which are determined by the developed method for concrete at  $t=20^\circ\text{C}$ . New in the current version of GOST 29167 is that the fracture toughness characteristics determined according to this standard are used to assess the resistance to high temperatures using the force criteria of fracture mechanics - stress intensity factors for normal separation  $K_{IC}$ .

**Keywords:** high-strength concrete, fragility, crack resistance, ultimate strength, fracture toughness, resistance, high temperatures.

Для анализа хрупкости бетонов в настоящее время используют формулу Жукова В.В. для расчета хрупкого разрушения F:

$$F = \frac{\alpha_F \alpha_{bt} \beta}{K_{IC} \lambda_k} \cdot \frac{E_c \rho_i W_\Omega}{n_p} \quad (1)$$

где  $\alpha_F$  – коэффициент пропорциональности:  $\alpha_F = 1,16 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{5/2} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

$\alpha_{ue}$  – коэффициент температурной деформации расширения бетона,  $^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$\lambda_k$  – коэффициент теплопроводности бетона,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\beta$  – коэффициент изменения модуля упругости бетона при нагреве;

$E$  – модуль упругости бетона при нормальных условиях, МПа;

$\rho_0$  – плотность бетона в сухом состоянии, кг/м<sup>3</sup>;

$n_p$  – общая пористость бетона, %;

$K_{IC}$  – критический коэффициент интенсивности напряжения, МН/м<sup>-3/2</sup>;

$W_э$  – объемная эксплуатационная влажность бетона, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

□ – текущие значения Литвиновского Д.А., Леоновича С.Н.;

△ – параметры Жукова В.В. [1, 2].

Критерий хрупкости  $F$  на основе текущих (для температур 20, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 °С) значений  $K_{IC}$ ,  $E$ ,  $\rho_0$ ,  $W_э$ ,  $n_p$ , полученных автором экспериментально, графически представлен на рисунке 1.

На основе анализа экспериментальных исследований предложены критерии хрупкости для высокопрочного бетона при высоких температурах и рекомендованы их пороговые значения (таблица 1), которые определяются по разработанной методике для бетона при  $t=20$  °С.

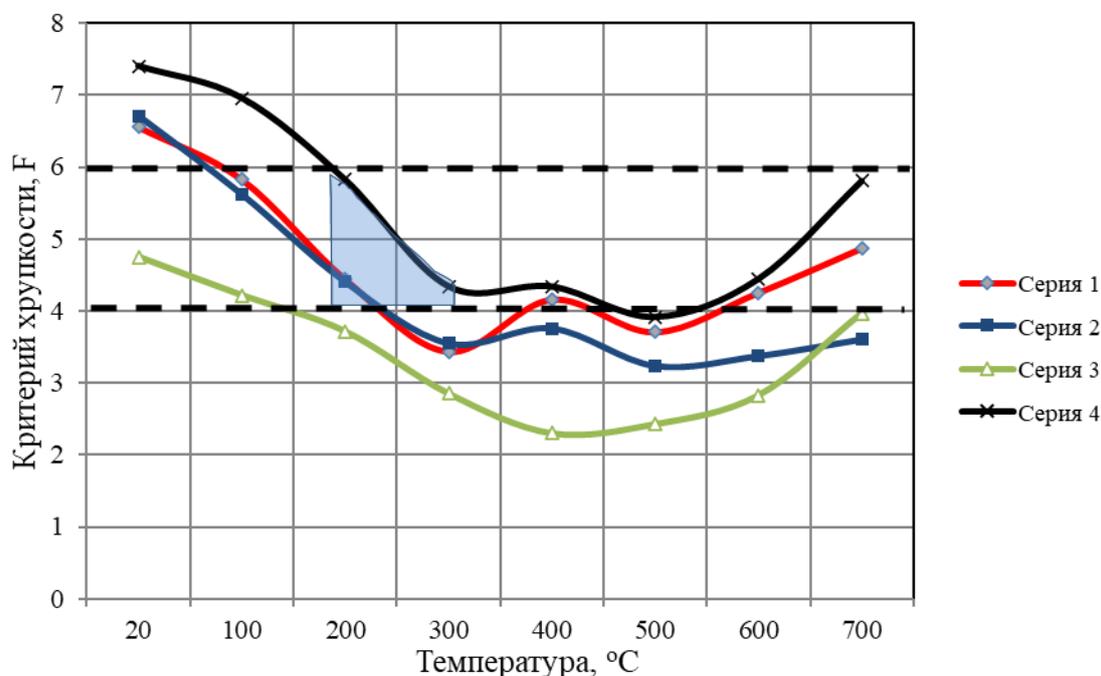


Рисунок 1. – Значения критерия хрупкости  $F$  для серий бетонных образцов 1, 2, 3,4 [1, 2]

Таблица 1. – Рекомендуемые значения критериев хрупкости при нормальной температуре (при  $t=20$ °С)

$K_{IC}$ , МН/м <sup>-3/2</sup>	$G_i$ , Н/м	$l_{ch}$ , м
>0.8	>14	≈0,03

Значения критериев коэффициента интенсивности напряжения  $K_{IC}$ , энергия разрушения, критическая длина трещины определяются по формулам (2, 3, 4):

$$K_{IC} = \frac{F_c}{b \cdot h^{1/2}} \left[ 18,3 \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^{1/2} - 430 \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^{3/2} + 3445 \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^{5/2} - 11076 \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^{7/2} + 12967 \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^{9/2} \right] \quad (2)$$

$$G_i = \frac{K_{IC}^2}{E} \quad (3)$$

$$l_c = \frac{G_i E}{f_{ctm}^2} \quad (4)$$

где  $F_c$  - нагрузка, при которой происходит разрушение образца;

$E$  - модуль упругости,

$f_{ctm}$  - прочность бетона на растяжение.

Разработанный межгосударственный стандарт ГОСТ 29167-2020 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении» [7] распространяется на бетоны всех видов, применяемых в строительстве, и устанавливает методы их испытаний для определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости при статическом кратковременном нагружении.

Устанавливаются методы определения характеристик трещиностойкости путем равновесных и неравновесных механических испытаний.

Равновесные испытания на стадии локального деформирования образца характеризуются обеспечением адекватности изменения внешних сил внутренним усилиям сопротивляемости материала с соответствующим статическим развитием магистральной трещины.

Неравновесные испытания характеризуются потерей устойчивости процесса деформирования образца в момент локализации деформации по достижении максимальной нагрузки, с соответствующим динамическим развитием магистральной трещины.

Для определения характеристик трещиностойкости испытывают образцы с начальным надрезом. При равновесных испытаниях записывают диаграмму  $F - V$ ; при неравновесных испытаниях фиксируют значение  $F_c^*$ .

Допускается проведение равновесных испытаний с фиксацией текущих размеров развивающейся магистральной трещины ( $a_{ij}$ ) и соответствующих значений прилагаемой нагрузки ( $F_{ij}$ ).

По результатам испытаний определяют следующие основные силовые – в терминах коэффициентов интенсивности напряжений ( $K$ ), энергетические – в терминах удельных энергозатрат ( $G$ ) и джей-интеграла ( $J$ ) характеристики трещиностойкости:  $K_C, K_C^*, K_i, G_F, G_i, G_{ce}, J_i, \chi_F^c$ .

Новым в актуальной редакции ГОСТ 29167 является то, что определяемые по настоящему стандарту характеристики трещиностойкости применяют для оценки стойкости к воздействию высоких температур, используя силовые критерии механики разрушения – коэффициенты интенсивности напряжений при нормальном отрыве  $K_{IC}$ .

Предлагаемый подход состоит в следующем:

1. Определяется  $K_{IC}$  бетона призмы по равновесной схеме [6, 7].
2. Полученные в процессе равновесных исследований две половинки призмы надрезаются по середине и испытываются по неравновесной схеме (рисунок 2) с расчетом  $K_{IC}$  [3, 4, 5].
3. Получившиеся при испытаниях 4 кубика 100x100x100 мм надрезаются с двух сторон. В результате испытаний на нормальный отрыв получаем четыре значения  $K_{IC}$  [6, 7].
4. Полученные при фрагментации 4 кубов 8 бетонных пластин 100x100x50 мм испытываются по схеме (рисунок 3), производится расчет восьми значений  $K_{IC}$  [3, 4, 5].

Значения  $K_{IC}$

$$K_{IC} = \frac{F_c}{b(h - 2\alpha_{cr})} \cdot \frac{(\cos \alpha/2 - f \sin \alpha/2)}{(\cos \alpha/2 + f \sin \alpha/2)} \cdot \sqrt{\frac{2\pi k d_{\max}}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (5)$$

где  $F_c$  – разрушающая нагрузка, МН;  
 $b$  – ширина образца, м;  
 $h$  – высота образца, м;  
 $a$  – глубина надреза (паза), м;  
 $\alpha$  – угол клиновидного паза, град.;  
 $f$  – коэффициент трения между поверхностями паза и клина;  
 $\pi$  – математическая константа, равная 3,14;  
 $d_{\max}$  – максимальный размер заполнителя, м, при  $d_{\max} \geq 0,02$  м,  $k = 1,2$ ;  
 $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Значения  $K_{IIC}$

$$K_{IIC} = \frac{F_c}{2tH} \sqrt{l \cdot Y(l, b)} \quad (6)$$

где  $F_c$  – нагрузка, при которой происходит разрушение, Н;  
 $t$  – толщина изделия, м;  
 $H$  – ширина плеча изделия, м;  
 $l$  – глубина надреза, м;  
 $Y(l, b)$  – поправочный коэффициент (определяется по таблице 1).

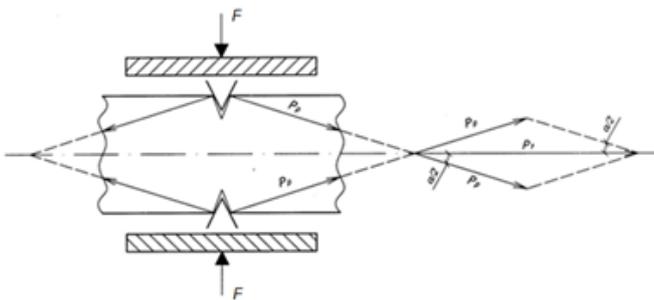


Рисунок 2. – Схема нагружения образца для расчета  $K_{IC}$

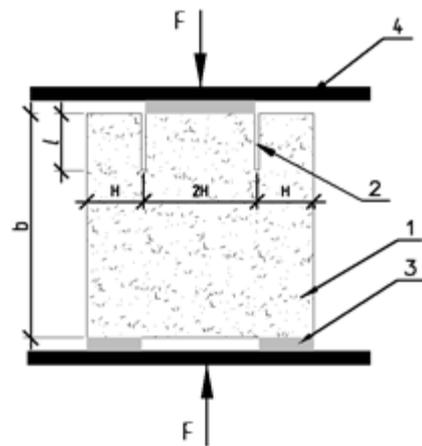


Рисунок 3. – Испытания на поперечный сдвиг

Таблица 2. – Значения поправочного коэффициента  $Y(l, b)$

$l/b$	$H$		
	0,037	0,025	0,012
0,1	1,2	1,1	1,07
0,2	1,26	0,99	0,9
0,3	1,3	0,95	0,76
0,4	1,32	0,95	0,65

Преимуществом предложенной процедуры испытаний является то, что на одной бетонной призме (не на образцах-близнецах) мы получаем:  $K_{IC}$  в результате равновесных испытаний призмы 100x100x400 мм на 3-х точечный изгиб, два значения  $K_{IC}$  при раскалывании 2-х половинок призмы 100x100x200 мм, четыре значения  $K_{IC}$  при испытании 4-х кубов 100x100x100 мм с боковыми надрезами на сжатие, инициируя нормальный отрыв, и восемь значений  $K_{IC}$ , инициируя в бетонных пластинах 100x100x50 мм поперечный сдвиг. При этом мы сравниваем 1 значение  $K_{IC}$  равновесных испытаний, с 2-мя и 4-мя значениями  $K_{IC}$  по двум различным методикам неравновесных испытаний, и все это производится буквально на одном образце бетона, что также исключает погрешность от использования образцов-близнецов.

Восемь значений  $K_{IC}$  (рисунок 3) являются также хорошей статистической основой для достоверной оценки коэффициента интенсивности напряжений при поперечном сдвиге, а также надежной базой для обоснования соотношения  $\frac{K_{IC}}{K_{IC}}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович, С. Н. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при воздействии высоких температур / С. Н. Леонович, Д. А. Литвиновский, Л. В. Ким. – Владивосток: Дальневост. федер. ун-т, 2015. – 148 с.
2. Литвиновский, Д. А. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при воздействии высоких температур / Д. А. Литвиновский // Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях: в 2 ч. / С. Н. Леонович [и др.]; под ред. С. Н. Леоновича. – Минск, 2016. – Ч. 1. – Гл. 1. – С. 12–160.
3. Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона: пат. ВУ 16193 / С. Н. Леонович, Д. А. Литвиновский. – Опубл. 30.08.2012.
4. Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона: пат. ВУ 16194 / С. Н. Леонович, Д. А. Литвиновский. – Опубл. 30.08.2012.
5. Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона: пат. ВУ 19170 / С. Н. Леонович, Д. А. Литвиновский. – Опубл. 30.06.2015.
6. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – Москва: Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона (НИИЖБ), 1992. – 14 с.
7. ГОСТ 29167-2020. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.

УДК 691.545

## БЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГРАФЕНОМ

Т.А. Потес<sup>1</sup>, С.Н. Леонович<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь  
e-mail: <sup>1</sup> [Tanyapotes@bntu.by](mailto:Tanyapotes@bntu.by), <sup>2</sup> [leonovichsn@tut.by](mailto:leonovichsn@tut.by)

*В статье рассматривается влияние малых дозровок отечественного углеродного наноматериала – графена в составе водной суспензии на цементный бетон.*

**Ключевые слова:** бетон, водная суспензия графена, прочность при сжатии.

## GRAPHENE MODIFIED CONCRETE

T. Potses<sup>1</sup>, S. Leonovich<sup>2</sup>Belarusian National Technical University, Republic of Belarus  
e-mail: <sup>1</sup> [Tanyapotes@bntu.by](mailto:Tanyapotes@bntu.by), <sup>2</sup> [leonovichsn@tut.by](mailto:leonovichsn@tut.by)

*The article considers the effect of small dosages of domestic carbon nanomaterial-graphene in the composition of an aqueous suspension on cement concrete.*

**Keywords:** concrete, graphene aqueous suspension, compressive strength.

**Введение.** Существует постоянная потребность в разработке новых эксплуатационных многофункциональных строительных материалов с использованием современных минеральных и химических добавок и инженерных технологий. К этим материалам предъявляются повышенные требования относительно долговечности, физико-механических показателей и функциональных возможностей, для использования в конструкциях различного назначения. Бетон, как один из самых популярных строительных материалов в мире, должен быть спроектирован на наноуровне, где его химические и физико-механические свойства могут быть действительно улучшены. В этой статье сообщается об исследовании влияния различных концентраций графена на прочностные показатели бетона. Они включают в себя увеличение прочности при сжатии до 62%.

Новые мировые стандарты современных гражданских технологий, постоянно требующие все более требовательной инфраструктуры, стимулируют разработку сверхвысокопродуктивных многофункциональных строительных материалов. В частности, значительные усилия сосредоточены на повышении эксплуатационных характеристик и функциональности бетона.

Для обеспечения новых функциональных возможностей требуется вмешательство на наноуровне, поскольку большая часть повреждений, нанесенных бетону, может быть прослежена до химических и механических дефектов в структуре цемента. Таким образом, современные исследования направлены на изучение новых способов повышения эксплуатационных характеристик бетона путем наноинженерии химических и физико-механических свойств цемента, основного связующего элемента в составе бетона. Частицы цемента, состоящие из различных химических элементов (таких как силикаты кальция, алюминаты и алюмоферриты), при взаимодействии с водой претерпевают превращение из порошкообразной формы в волокнистые кристаллы, известное как реакция гидратации [1]. Их рост и механическое сцепление с течением времени являются наиболее значимыми факторами в формировании свойств материала бетона. Основные химические и физические свойства наноматериалов обеспечивают наиболее эффективное улучшение внутренней матрицы бетона, а недавний прогресс в области наномодификации цементных композиционных материалов позволил применять их в области усиления конструкций. Предыдущие исследования [2] были в основном сосредоточены на внедрении наноматериалов

в цемент. К ним относятся включение углеродных нанотрубок (УНТ) в цемент, что привело к 50%-ному (для УНТ) повышению прочности на сжатие. Однако эти выводы не распространяются непосредственно на бетон, так как добавление песка и заполнителя изменяет физико-механические свойства материала. Более того, на сегодняшний день роль атомарно тонких материалов в нанотехнологии бетона еще предстоит изучить, и это обещает изменить мир строительных материалов и конструкций.

**Изготовление водной суспензии графена.** Разнообразие физико-химических свойств графена позволяет надеяться на развитие прикладных направлений, основанных на использовании этого материала. Подобные надежды стимулируют исследования, направленные на разработку новых эффективных методов синтеза графена в макроскопических количествах. Недавно к десятку хорошо известных и уже детально описанных в литературе методов прибавился еще один, получивший название “электрохимическая эксфолиация”. Этот метод основан на использовании электрохимических реакций, происходящих в пространстве между слоями графита, заполненном электролитом. Выделение газов, образующихся в результате протекания таких реакций, приводит к расщеплению (эксфолиации) графеновых листов, которые затем окончательно разделяются с помощью поверхностно-активных реагентов.

В работе [3], опубликованной группой ученых из National Cheng Kung University (Тайвань) исследована возможность функционализации графеновых листов, полученных методом электрохимической эксфолиации. Последний метод позволяет разделять графит на графеновые слои в жидкой среде с получением малослойных графеновых дисперсий, стабилизированных поверхностно-активным веществом в воде чрезвычайно эффективно для изготовления бетона, армированного графеном, поскольку он может заменять воду непосредственно в бетонной смеси и является промышленно масштабируемым. Графеновые нанопластины стабилизируются в составе водной суспензии с использованием поверхностно-активных веществ и модифицированного лигносульфоната (ЛСТМ). Поверхностно-активное вещество может играть несколько ролей в приготовлении суспендированного в воде графена, т. е. оно помогает снизить поверхностное натяжение воды до уровня графена и сделать возможным отслоение, позволяет формировать однородные смеси и, самое главное, стабилизирует отслоенные графеновые нанослои и предотвращает их агрегацию.

**Экспериментальное исследование.** Требования к материалам, используемым в эксперименте: заполнители для бетона – щебень кубовидный фракций 5...10 и 5...20 мм (ГОСТ 8267-93); песок природный Мк- 2,6...2,8 (ГОСТ 8736-93); вяжущее – портландцемент ПЦ 500-Д0 (ГОСТ 30515-2013) (СЕМ I 42,5 N по СТБ EN 197-1-2015); вода затворения – по СТБ 1114-98. Общий расход материалов для изготовления образцов кубов приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Расход материалов для изготовления образцов

Используемые материалы	Расход материалов кг/м <sup>3</sup>
Цемент	397
Щебень	1122
Песок	1052
В/Ц	0,5

Способ введения водной суспензии графена на основе ЛСТМ в бетонную смесь осуществлялся путем диспергирования в воде затворения и дальнейшим смешиванием всех компонентов: портландцемента, мелкого заполнителя и крупного заполнителя. Для оптимизации эксплуатационных характеристик были исследованы различные составы с различной концентрацией. Ключевыми механическими свойствами бетона является кинетика роста прочности на сжатие с течением времени. Поэтому образцы кубы были протестированы в возрасте 1, 7, 28 дней, чтобы получить значения прочности раннего и более позднего возраста. Образцы бетона, армирован-

ного суспензией графена, сравнивались с контрольными образцами бетона. С этой целью была изготовлена контрольная группа образцов по той же методике, но с заменой суспензии графена водопроводной водой.

Впоследствии кубики бетона были испытаны на прочность при сжатии в соответствии со стандартами. [4] Одноосное испытание на прочность при сжатии бетонных кубов наиболее широко используемый метод оценки характеристики механических свойств бетона модифицированного графеном и оценки эффективности этого типа армирования.

Экспериментальная программа и результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Экспериментальная программа и результаты

Условия хранения	Модификатор	№ состава	Количество Графена в % от МЦ	Прочность при сжатии, МПа			
				1 сутки	7 сутки	28 суток	%
КНВТ 50% ± 5	Контрольный	1,1		12,35	21,06	25,86	100
		1,2		13,44	21,18	25,94	
		1,3		13,48	21,26	25,28	
		1,4		12,92	21,03	24,70	
		1,5		13,89	20,96	26,04	
		1,6		13,57	20,92	25,80	
	Водная суспензия графена	2,1	0,04	16,67	23,67	29,43	114,97
		2,2		16,05	23,80	29,50	
		2,3		16,91	23,09	29,12	
		2,4		16,80	23,74	29,76	
		2,5		15,77	23,75	29,90	
		2,6		16,93	23,89	29,94	
	Водная суспензия графена	3,1	0,07	19,64	32,98	41,04	162,67
		3,2		19,80	34,05	41,62	
		3,3		19,93	32,86	41,06	
		3,4		19,05	34,86	41,58	
		3,5		19,62	34,82	41,54	
		3,6		20,66	34,12	42,36	
	Водная суспензия графена	4,1	0,1	17,90	30,99	38,03	146,69
		4,2		18,22	30,87	38,11	
		4,3		18,54	30,80	38,20	
		4,4		18,08	30,86	37,90	
		4,5		18,94	30,91	37,74	
		4,6		18,11	31,05	37,57	

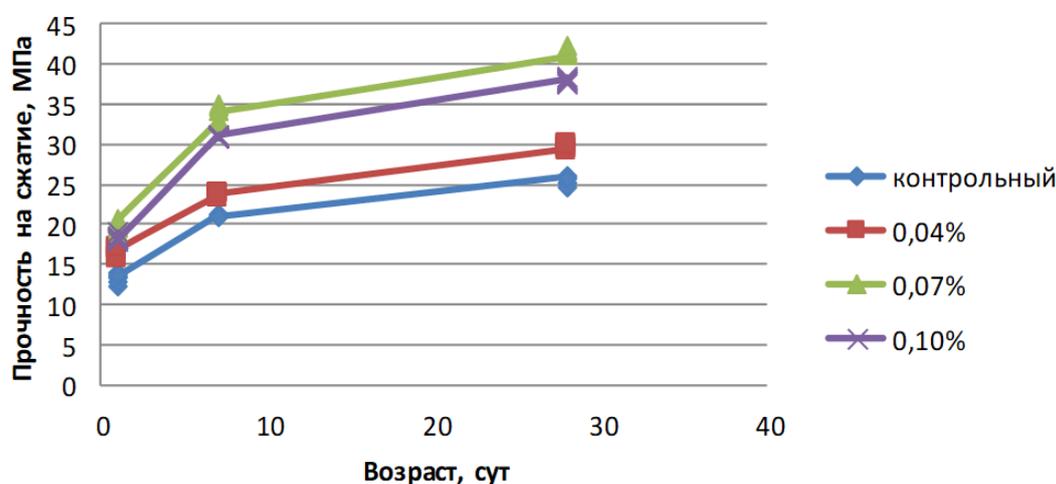


Рисунок 1. – Кинетика набора прочности бетона

**Заключение.** Проведён анализ практического решения повышения прочности бетона, применением водной суспензии графена, проведены экспериментальные исследования влияния суспензии графена на прочностные характеристики образцов кубов размером 100\*100\*100 мм из бетона.

В результате работы были выявлены следующие закономерности:

1. Прочность на сжатие образцов кубов в возрасте 1-7 суток увеличена от 13 до 63 %, в возрасте 28 суток на 16-62 % относительно контрольных образцов. По результатам определения влияния суспензии графена на основе ЛСТМ можно сделать вывод о том, что поверхность графена является энергоактивной и может выступать в качестве центра кристаллизации.

2. Проявляется этот эффект в полной мере при концентрации графена (твёрдого вещества) равной 0,07 % от МЦ.

3. Способ введения суспензии графена диспергированием в воде затворения может быть использован в технологическом цикле получения бетонных смесей на производстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. F. M. Lea, The Chemistry of Cement and Concrete, Chemical Pub. Co., New York, NY 1970.
2. Батяновский, Э.И. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня / Э.И. Батяновский, А.В. Краукулис, П.П. Самцов, П.В. Рябчиков, П.П. Самцов // Строительная наука и техника – 2010 - № 1-2 (28-29). – С.3-10.3. ГОСТ 10180.
3. M.Hofmann et al., Nanotechnology 26, 33560 (2015).
4. ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

УДК 624. 012. 45

## О СОПРОТИВЛЕНИИ СРЕЗА ПО КОНТАКТУ МЕЖДУ БЕТОНАМИ, УКЛАДЫВАЕМЫМИ В РАЗНОЕ ВРЕМЯ

**Е.Г. Кремнева**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: e.kremneva@psu.by

*Показаны факторы, влияющие на эффективность работы составной конструкции. Приведены мероприятия, обеспечивающие надежное сцепление слоев составной конструкции. Сделаны выводы о влиянии подготовки поверхности контакта, способов уплотнения бетонов на моноличивания, прослоек, модифицированных бетонов на сопротивление срезу контактного шва.*

**Ключевые слова:** *контактный шов, составная конструкция, сопротивление срезу, подготовка поверхности, прослойки, модифицированные бетоны.*

## ABOUT THE SHEAR RESISTANCE BETWEEN CONCRETES, STACKED AT DIFFERENT TIMES

**A. Kremneva**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: e.kremneva@psu.by

*The factors influencing the efficiency of the composite structure are shown. Measures are given to ensure reliable adhesion of the layers of a composite structure. Conclusions are made about the influence of the preparation of the contact surface, the methods of compacting concretes by monolithing, interlayers, modified concretes on the shear resistance of the contact seam.*

**Keywords:** *contact seam, composite structure, shear resistance, surface preparation, interlayers, modified concrete.*

Составные бетонные конструкции находят все большее применение и в новом строительстве, и при реконструкции зданий и сооружений. В настоящее время область применения таких конструкций заметно расширяется. В условиях конкуренции на строительном рынке все технологии для производства конструкций развиваются в направлении удешевления конечного результата. Стало актуальным малоэтажное строительство 3D-принтерах, когда за кратчайшие сроки возводится здание, в котором конструкции состоят из множества слоев. Таким образом, в составной конструкции может быть большое количество швов, а слои могут иметь разные свойства. Контактные швы имеют место во всех конструкциях зданий и сооружений, варианты их использования показаны в таблице 1.

В связи с этим, весьма актуальным является придание слоям необходимых свойств, а контактными швам – прочности соединения, тем самым обеспечив универсальность всей конструкции и надежность здания в целом. Состояние поверхности конструкции до нанесения слоев, качество ее подготовки для последующего слоя, способ нанесения, составы смесей, наличие пропиток и прослоек и многое другое, оказывают существенное влияние на совместную работу составной конструкции [1-6].

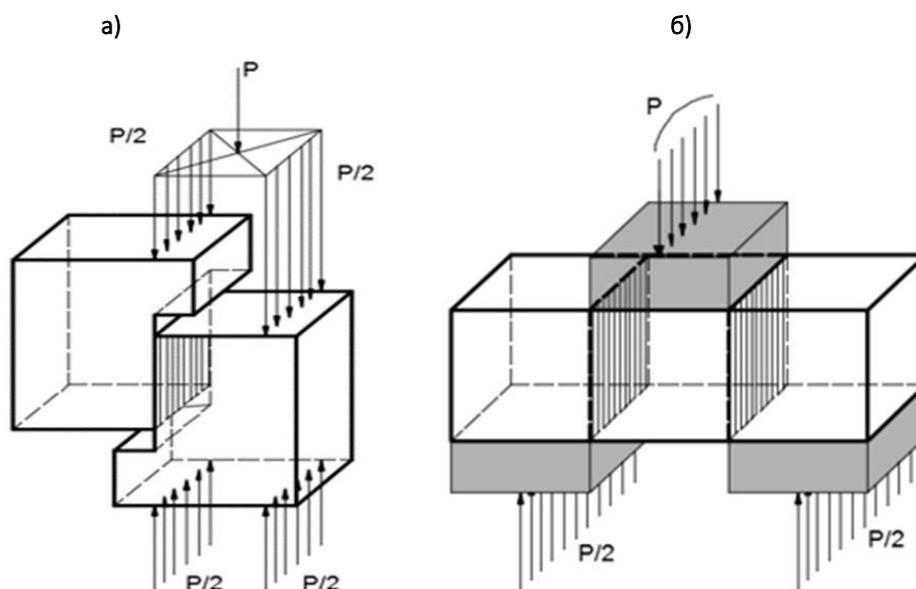
Таблица 1. – Контактные швы в бетонных и железобетонных конструкциях

Монолитные конструкции	Сборно-монолитные конструкции	Сборные конструкции	Усиливаемые конструкции
- швы после перерывов в бетонировании; - швы с несъемной опалубкой	- швы между сборными частями конструкции - швы при намоноличивании на сборные части; - швы в бетонируемых конструкциях намоноличивания	-швы между модулями (сборными элементами)	- швы между сборной частью и бетоном намоноличивания -швы после перерывов в бетоне намоноличивания

Исследования надежного соединения составных конструкций ведутся уже на протяжении более 80 лет многими учеными, научно-исследовательскими, проектными и учебными учреждениями разных стран. Обширные теоретические и экспериментальные исследования проводятся НИИЖБ (Москва), БНТУ, УО «БрГТУ» и другими. Это подтверждает, что поиск оптимальных вариантов надежного соединения остается открытым.

На базе Полоцкого государственного университета более 10 лет проводятся исследования влияния подготовки поверхности, способов бетонирования, составов бетонов, в том числе модифицированных, прослоек и пропиток на прочность контактного шва. Исследования проводятся на разных поверхностях контакта, в том числе и с модифицированными бетонами, и с бетонами разных возрастов, которые укладываются в разное время, [3-6].

Испытания проводятся на двух- и трехслойных составных элементах по схемам А.А.Гвоздева и Е.Мерша, с некоторыми модификациями, в зависимости от задач исследований, [1,3-6], рисунок 1.



а) – А.А. Гвоздева; б) – Е. Мерша

Рисунок 1. – Схемы опытных образцов составной конструкции при определении сопротивления среза по контакту между бетонами, укладываемыми в разное время

Технология изготовления составных конструкций, в общем случае заключалась в следующем: к сборному бетону на подготовленную поверхность контакта намоноличивался новый бетон. Зона контакта перед намоноличиванием увлажнялась. Причем разница в возрасте частей составной конструкции доходила до полутора лет, в зависимости от вида исследования.

Новый бетон укладывали на влажную поверхность контакта двумя способами: послойным штыкованием и вибрированием. Это связано с тем, что зачастую при производстве работ невозможно использовать вибраторы из-за стесненных условий и категории состояния конструкции, к примеру, при реконструкции. Обобщенные данные по двум сериям образцов с разными поверхностями контакта и уплотнения бетона на монолитивания (серии В1-3 и О1-4) показаны в таблице 2, а экспериментальное сопротивление срезу на рисунке 2.

Таблица 2. – Данные о подготовки поверхности и уплотнении бетона на монолитивания для серий В и О

Образец	Способ уплотнения бетонной смеси на монолитивания	Вид поверхности контакта	Вид поверхности контакта по СП 5.03.01-2020 [7]
В1	вибро-уплотнение	очистка поверхности до заполнителя глубиной до 5 мм	шероховатая
В2		очистка поверхности до заполнителя глубиной до 3 мм, устройство насечек глубиной до 3 мм с шагом не менее 40 мм	гладкая
В3		очистка поверхности до заполнителя глубиной до 5 мм, устройство насечек глубиной до 5 мм с шагом не менее 40 мм	шероховатая
О-1	штыкование	очистка поверхности до заполнителя глубиной до 5 мм	шероховатая
О-2			
О-3			
О-4			

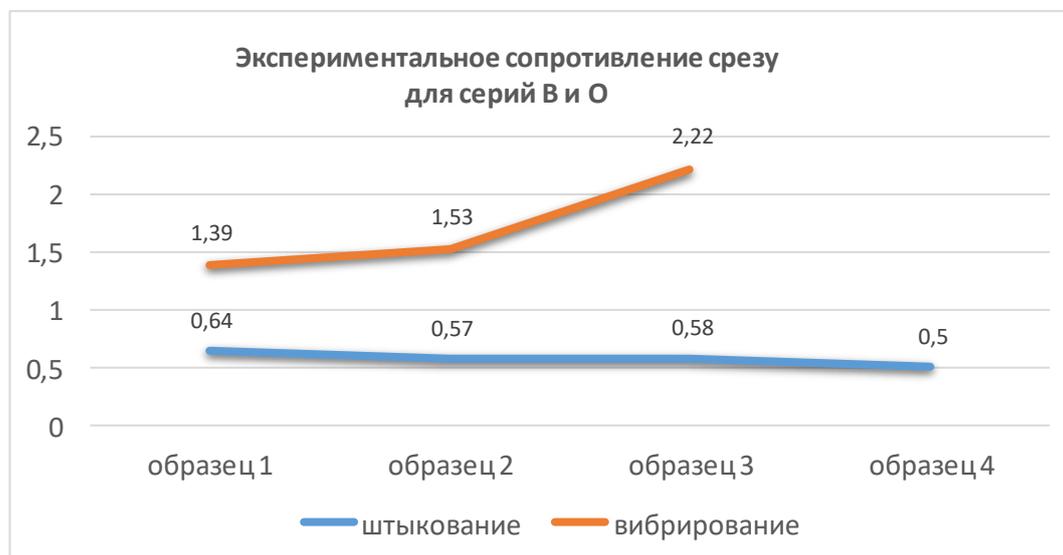


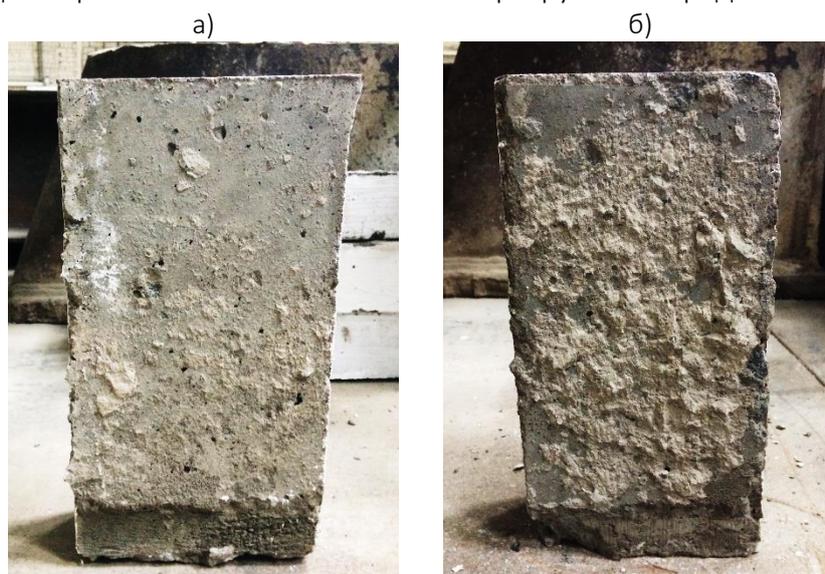
Рисунок 2. – Экспериментальное сопротивление срезу

Из рисунка 2 видно, что подготовка поверхности и способ уплотнения бетонной смеси могут значительно повлиять на прочность контактного шва. Что же касается вида подготовки поверхности, несмотря на практически одинаковую классификацию, согласно [7], он существенно отличался. Наиболее эффективной при испытании на срез оказалась очищенная до заполнителя глубиной до 5 мм поверхность с устройством насечек глубиной до 5 мм с шагом не менее 40 мм.

Сравнивая результаты, можно отметить, что образцы, в которых бетонная смесь намоноличивания уплотнялась вибрированием, показали сопротивления сдвигу контактного шва значительно выше – почти на 50%, чем образцы, уплотненные штыкованием. Это объясняется тем, что после вибрирования частицы бетона намоноличивания стремятся занять по отношению друг к другу наиболее устойчивое положение. Такой процесс приводит к более плотному их расположению в форме и плотному контакту между бетонами составной конструкции, а, следовательно, к большей прочности контактного шва.

Что касается составных конструкций, отдельные слои которых были модифицированы добавками СПС, Суперпласт РТ, Стахемент F, Стахемент-2000М, Стахемент-2010, то анализ проведенных экспериментально-теоретических исследований показывает, что введение определенного количества модификаторов, благоприятно сказывается на прочности контактного шва по сравнению с бездобавочными составами, [3-6]. Так, у образцов с добавлением гиперпластификатора СТАХЕМЕНТ-2000М поверхность сборного бетона после разрушения имела приставшие частицы бетона намоноличивания, у бездобавочных – поверхность, по которой происходило разрушение, была относительно чистой и гладкой. Таким образом, введение гиперпластификатора способствовало созданию более мелкопористой и однородной структуры бетона в зоне шва и привело к повышению прочности.

Общий вид поверхностей нового бетона после разрушения представлены на рисунке 3.



а) – образец без использования добавки,  
 б) – образец с использованием гиперпластификатора (0,7%) СТАХЕМЕНТ-2000М.

Рисунок 3. – Общий вид поверхностей нового бетона после разрушения

Такой же эффект был замечен в прослойках на основе цементных систем. В этом случае испытания проводились на следующих группах образцов:

Г-0: намоноличивание нового бетона производилось без использования прослоек, непосредственно на предварительно подготовленную поверхность сборного бетона;

Г-1: перед укладкой нового бетона намоноличивания на предварительно подготовленную поверхность сборного бетона укладывалась цементно-песчаная прослойка слоем толщиной 1 см.

Г-2: перед укладкой нового бетона намоноличивания на предварительно подготовленную поверхность сборного бетона укладывалась цементно-песчаная прослойка слоем толщиной 1 см. с добавлением гиперпластификатора Стахемент-2010 в количестве 0,8% от массы цемента.

Анализ поверхностей разрушения показал, что поверхность бетона намоноличивания в образцах серии Г-0 имела приставшие частицы сборного бетона. В образцах серий Г-1 и Г-2 разрушение произошло по контактному шву между старым бетоном и прослойкой. В серии Г-1 количество приставших частиц на поверхности прослойки было меньше чем в группе Г-2, а в серии образцов Г-0 их количество было наименьшим. Результаты испытаний показаны на рисунке 4.



Рисунок 4. – Сопротивление сдвигу контактного шва с различными составами прослойки

Как видно из гистограммы на рисунке 4, сопротивление срезу контактного шва образцов группы Г-1 по сравнению с образцами серии Г-0 (без прослойки) увеличилась более чем на 10%. Сопротивление контактного шва образцов серии Г-2, по сравнению с образцами серии Г-0 (без прослойки), увеличилась более чем на 80% и на 65% по сравнению с образцами серии Г-1 (обычной цементно-песчаной прослойкой). На основании проведенных исследований можно заключить, что применение цементно-песчаной прослойки с использованием Стахемент-2010 (0,8%) может значительно улучшить сцепление бетонных элементов составной конструкции.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы

1. Подготовка поверхности сборного бетона до заполнителя глубиной до 5 мм с устройством насечек глубиной до 5 мм и шагом не менее 40 мм увеличивает прочность контактного шва по сравнению с очисткой поверхности до заполнителя глубиной до 5 мм практически более чем в 1,5 раза.
2. Образцы с послойным уплотнением бетонной смеси намоноличивания вибрированием дают результаты сопротивления срезу составных конструкций почти на 50% выше, чем образцы с послойным уплотнением бетонной смеси штыкованием.
3. Применение бетонов, модифицированных добавками СПС, Суперпласт РТ, Стахемент F, Стахемент-2000М и Стахемент-2010, повышает прочность сцепления в контактном шве при использовании определенных дозировок модифицирующей добавки. Для Стахимент-2000М, такая оптимальная дозировка может составлять 0,7% от массы цемента.
4. Применение прослоек из цементных систем увеличивает прочность контактного шва по сравнению с образцами без прослойки. Образцы с прослойкой, модифицированной Стахемент-2010 (0,8%), увеличивают прочность контактного шва более чем на 80% по сравнению

с образцами без прослойки и на 65%, по сравнению с образцами с обычной прослойкой из цементных систем.

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. 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
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. – N 8 – С. 48–52.
4. Кремнева, Е. Г. Сопротивление сдвигу контактного шва составных бетонных конструкций с использованием композиций на основе цементных систем /Е. Г. Кремнева// II Международная научная конференция: Архитектурно-строительный комплекс – Новополоцк : Полоцкий гос. университет, 28-29 ноября 2019. – С. 125–129.
5. 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. – N 6. – С. 42–46.
6. Кремнева, Е. Г. Влияние модификаторов на прочность контактного шва составных бетонных и железобетонных конструкций / Е. Г. Кремнева // II Международная научная конференция: Архитектурно-строительный комплекс – Новополоцк: Полоцкий гос. университет, 28-29 ноября 2019. – С. 130–136.
7. СП 5.03.01-2020. Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные правила. - Мн.: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020. – С. 73.

## Секция III

## РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 69.059

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОДГОТОВКИ  
ПОВЕРХНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ ПРИ ЕЕ УСИЛЕНИИ ИЛИ ВОССТАНОВЛЕНИИ*И.Л. Опанасюк, С.В. Данилов<sup>1</sup>*

Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [danilov@mail.ru](mailto:danilov@mail.ru)

*Наиболее трудоемким и ответственным технологическим процессом являются подготовка арматуры и бетона колонны к усилению или восстановлению. От качества проведения подготовительных работ во многом зависит совместная работа усиливаемой железобетонной колонны с элементами усиления. В статье приводится организационно-технологическое обоснование способа подготовки поверхности железобетонной колонны с использованием гидромонитора «KARCHER», что позволяет снизить затраты труда на 8...16% по сравнению с пескоструйным аппаратом.*

**Ключевые слова:** железобетонная колонна, усиление, гидромонитор, затраты труда, организационно-технологическое обоснование.

ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL JUSTIFICATION OF THE METHOD OF PREPARATION OF THE  
SURFACE OF THE REINFORCED CONCRETE COLUMN WHEN IT IS GAINED OR RECOVERED*I. Opanasuk, S. Danilov<sup>1</sup>*

Belarusian-Russian University, the Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [danilov@mail.ru](mailto:danilov@mail.ru)

*The most time-consuming and responsible technological process is the preparation of reinforcement and concrete column to strengthen or recovery. The combined operation of the enhanced fuel-ton column with enhancement elements is largely dependent on the quality of preparatory work. The article provides an organizational and technological substantiation of the method of preparation of the surface of reinforced concrete columns using the Karcher hydromonitor, which allows to reduce labor costs per 8...16% compared with the sandblasting machine.*

**Keywords:** reinforced concrete column, strengthening, hydromonitor, labor costs, or-nization-technological justification.

**Введение.** При усилении и восстановлении железобетонных колонн одной из наиболее ответственных технологических операций является подготовка поверхности усиливаемой конструкции. Еще на стадии оценки технического состояния [1] железобетонных колонн, подлежащих восстановлению, следует установить места потери прочности поверхностного слоя бетона (от смятия, раздробления, воздействия высоких температур, коррозии арматуры и бетона) и определить дефектные участки, требующие удаления.

Удаляют слабопрочный бетон в дефектных зонах в соответствии с проектом усиления. Размеры зон уточняют визуально по отслоению защитного слоя, наличию мелкой сетки трещин на поверхности, коррозии бетона, следам ржавчины, глухому звуку при ударе. Удаление бетона следует проводить с вырубкой полостей преимущественно прямоугольной формы с тем, чтобы основные рабочие грани их были, по возможности, перпендикулярны направлению действующих усилий, а остальные грани примерно параллельны ему. При этом следует избегать устройства полостей, труднодоступных для заполнения их бетоном [2].

В [3] расчетом обосновано, что наличие слабых зон в бетоне негативно сказывается на несущей способности железобетонной конструкции, поскольку элемент всегда разрушается по объективно наиболее слабому сечению. Для удаления слабопрочного бетона с помощью механизированного инструмента выделяют дефектные зоны бороздой, постепенно углубляются и удаляют бетон внутри дефектной зоны. Удалять поверхностный поврежденный слой необходимо с минимальным нарушением участков существующего бетона [4].

**Основная часть.** Для подготовки арматуры и бетона железобетонной колонны к восстановлению и усилению поверхность усиливаемой конструкции подвергают механической обработке и в зависимости от объема работ используют: при малых объемах – электрические и пневматические ручные машины (металлические щетки, пучковые молотки и другие); при больших объемах работ – гидроабразивный и пескоструйный способы.

На поверхности конструкций, подготовленных к усилению, не допускается наличие бетона пониженного качества (прочности) [5]. Прочность бетона не менее чем в трех точках на каждой конструкции колонны визуально и простукиванием. Неровности поверхности должны составлять 2,5...5 мм на базовой длине 200 мм, а волнистость до 1 см. На поверхности не допускается наличие продуктов коррозии, пыли, грязи, следов краски и др. Работы по подготовке поверхности оформляют актом на скрытые работы. Непосредственно перед укладкой нового бетона усиления поверхность старого должна быть промыта струей холодной воды под давлением.

С целью повышения эффективности механизации подготовительных работ нами были проведены экспериментальные исследования по применению для производства работ гидромонитора фирмы «KARCHER» со следующими техническими характеристиками: мощность электродвигателя – 8 кВт; скорость вращения двигателя – 1400 об/мин; давление – 190 бар; масса – 75 кг; рабочий расход воды – 1180 л/час.

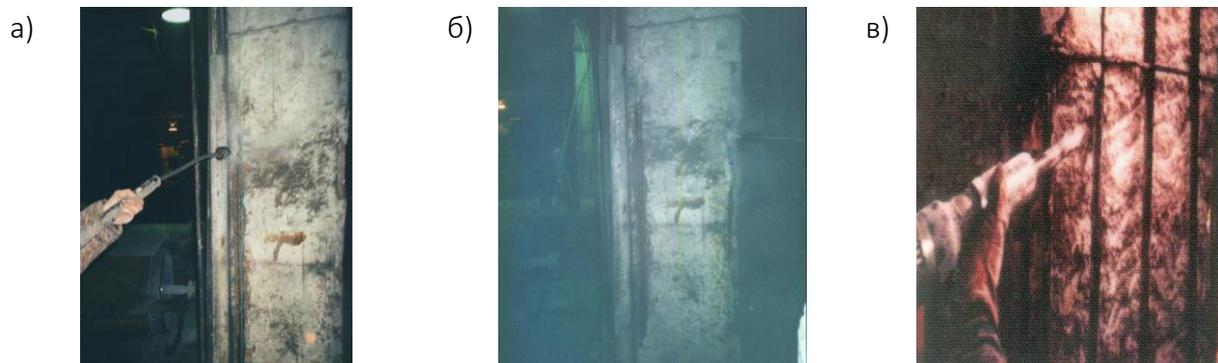
В процессе эксперимента исследовались технологические параметры применения гидромонитора фирмы «KARCHER» для подготовки поверхностей железобетонных колонн. Поверхности колонн, при применении гидромонитора, обрабатывались струей холодной воды под давлением 180 бар, расход воды составлял 1100 л/час. В процессе обработки поверхностей производилось удаление с бетона и арматуры следов коррозии, пыли, грязи и др. Высокие технические характеристики гидромонитора (давление струи воды) позволили добиваться удаления и слабопрочного бетона.

Для сопоставления экспериментальных результатов, полученных при использовании гидромонитора фирмы «KARCHER», проводились аналогичные подготовительные работы с использованием пескоструйного аппарата и вручную с применением электрического перфоратора 0,6 кВт с насадками в виде металлической лопатки и щетки (таблица 1). При применении для подготовки поверхностей колонн пескоструйного аппарата пульпа приготавливалась из трех частей мелкозернистого песка и семи частей воды.

Общий вид подготовки различными способами поверхности железобетонной колонны при восстановлении и усилении показан на рисунке 1.

Таблица 1. – Результаты исследований способов подготовки поверхности бетона и арматуры

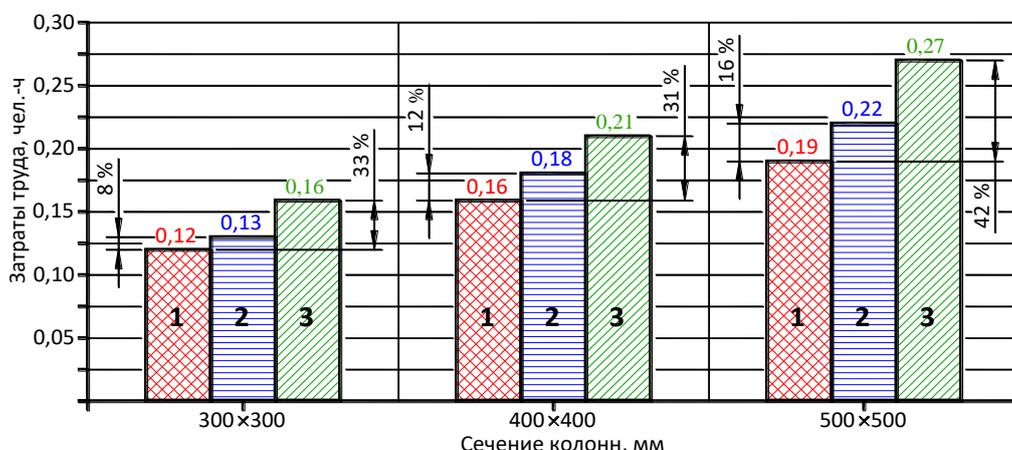
Сечение колонны	Объем работ, м <sup>2</sup> (1 м/п колонны)	Способ подготовки поверхности усиливаемой колонны с использованием:					
		гидромонитора «KARCHER»		пескоструйного аппарата		электрического перфоратора	
		Затраты труда, чел.-ч					
		$T_{гид}$	$T_{гид. ср}$	$T_{пес}$	$T_{пес. ср}$	$T_{пер}$	$T_{пер. ср}$
300×300	1,2	0,10	0,12	0,14	0,13	0,15	0,16
	1,2	0,13		0,11		0,14	
	1,2	0,14		0,13		0,17	
	1,2	0,11		0,14		0,18	
	1,2	0,10		0,11		0,14	
	1,2	0,13		0,13		0,17	
	1,2	0,14		0,14		0,18	
	1,2	0,11		0,11		0,14	
	1,2	0,14		0,11		0,17	
	1,2	0,11		0,13		0,18	
400×400	1,6	0,16	0,16	0,19	0,18	0,23	0,21
	1,6	0,15		0,18		0,20	
	1,6	0,16		0,18		0,21	
	1,6	0,17		0,17		0,22	
	1,6	0,16		0,18		0,20	
	1,6	0,15		0,18		0,21	
	1,6	0,16		0,17		0,22	
	1,6	0,17		0,18		0,23	
	1,6	0,15		0,17		0,20	
	1,6	0,16		0,18		0,21	
500×500	2,0	0,19	0,19	0,21	0,22	0,25	0,27
	2,0	0,19		0,21		0,27	
	2,0	0,20		0,23		0,26	
	2,0	0,18		0,23		0,28	
	2,0	0,19		0,21		0,27	
	2,0	0,19		0,23		0,26	
	2,0	0,20		0,23		0,28	
	2,0	0,18		0,23		0,26	
	2,0	0,19		0,23		0,28	
	2,0	0,19		0,21		0,27	
2,0	0,20	0,23	0,26				



а) – подготовка поверхности с помощью гидромонитора «KARCHER»;  
 б) – подготовка поверхности с помощью пескоструйного аппарата, МПа;  
 в) – подготовка поверхности с помощью перфоратора

Рисунок 1. – Подготовка поверхности железобетонной колонны при восстановлении и усилении

Полученные результаты показали (рисунок 2), что применение гидромонитора позволило снизить трудозатраты подготовительных работ по сравнению с электрическим ручным инструментом на 33...42%, а по сравнению с аналогичными пескоструйными установками – на 8...16%.



1 – подготовка поверхности усиливаемой колонны с использованием гидромонитора «KARCHER»;  
2 – то же с использованием пескоструйного аппарата; 3 – то же с использованием электрического перфоратора

Рисунок 2. – Способы подготовки поверхности усиливаемой колонны

**Выводы.** Проведенные дополнительные исследования установили, что при использовании гидромонитора себестоимость подготовительных работ на 15% ниже по сравнению с пескоструйными аппаратами. Данное снижение себестоимости достигается за счет использования гидромонитором воды под высоким давлением, а не пульпы. Преимуществом применения гидромонитора для подготовки поверхности колонны является лучшая очистка арматуры колонны от следов коррозии и слабопрочного бетона в труднодоступных местах (внутренняя поверхность арматурных стержней). Использование гидромонитора позволило улучшить качество очистки поверхности бетона, повысить шероховатость подготавливаемой поверхности и добиться высокой степени механизации труда. Результаты опытно-промышленного применения гидромонитора фирмы “KARCHER” для восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн при выполнении ремонтных работ подготовительного отделения завода асбестоцементных волнистых листов ОАО «Кричевцементношифер», подтвердили эффективность предлагаемой технологии подготовки поверхности железобетонных колонн.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое состояние зданий и сооружений : СН 1.04.01-2020 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – 68 с.
2. Возведение строительных конструкций, зданий и сооружений : СН 1.03.01-2019 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – 123 с.
3. Семенюк, С. Д. Расчет несущей способности железобетонных конструкций, работающих на изгиб с кручением / С.Д. Семенюк, Ю.Г. Москалькова, С.В. Босаков // Ресурсоeкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць / НУВГП ; редкол. : Є. М. Бабич [та інш.]. – Рівне, 2015. – Вип. 30. – С. 263–270.
4. Бетонные и железобетонные конструкции : СП 5.03.01-2020 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – 236 с.
5. Семенюк, С.Д. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, при статическом и малоцикловом нагружениях : моногр. / С.Д. Семенюк, Ю.Г. Москалькова. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 274 с. : ил. ISBN 978-985-492-177-8. – Режим доступа: <http://e.biblio.bru.by/handle/1212121212/4996>.

УДК 625.84

**БЫСТРОВЗВОДИМЫЕ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫЕ ДОРОГИ В МЕСТАХ СИЛЬНОГО ИЗНОСА (НА ПЕРЕКРЕСТКАХ)***С.А. Дергунов<sup>1</sup>, А.Б. Сатюков<sup>2</sup>, А.Ю. Спирина<sup>3</sup>, С.А. Лопонов<sup>4</sup>*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup> [dergunow79@mail.ru](mailto:dergunow79@mail.ru), <sup>1</sup> [satyukov777@mail.ru](mailto:satyukov777@mail.ru), <sup>3</sup> [alena0993@mail.ru](mailto:alena0993@mail.ru),<sup>4</sup> [1990-klim@mail.ru](mailto:1990-klim@mail.ru)

*Перекрестки всегда были и остаются наиболее изнашиваемой частью автомобильной дороги из-за истирающего воздействия колес транспортных средств различного направления, в сочетании с негативным влиянием погод-но-климатических факторов. «Безопасные и качественные дороги» - главный национальный проект Российской Федерации до 2024 года по дорожному строительству, поэтому необходимость совершенствования качества автомобильных дорог становится основной целью данного проекта.*

**Ключевые слова:** перекрестки, безопасные и качественные дороги, автомобильная дорога, национальный проект, дорожное строительство.

**PRE-FABRICATED CEMENT CONCRETE ROADS IN HEAVY WEAR PLACES (AT INTERSECTIONS)***S. Dergunov<sup>1</sup>, A. Satyukov<sup>2</sup>, A. Spirina<sup>3</sup>, S. Loponov<sup>4</sup>*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: <sup>1</sup> [dergunow79@mail.ru](mailto:dergunow79@mail.ru), <sup>1</sup> [satyukov777@mail.ru](mailto:satyukov777@mail.ru), <sup>3</sup> [alena0993@mail.ru](mailto:alena0993@mail.ru),<sup>4</sup> [1990-klim@mail.ru](mailto:1990-klim@mail.ru)

*Crossroads have always been the most wearing part of the motor road due to the abrasive effect of the vehicles wheels of different directions, combined with the negative influence of weather and climatic factors. "Safe and High-Quality Roads" is the main national road construction project of the Russian Federation until 2024, so the need to improve the quality of highways becomes the main goal of this project.*

**Keywords:** crossroads, safe and quality roads, motor road, national project, road construction.

Дорожные одежды с монолитными цементобетонными покрытиями относятся к жестким дорожным одеждам и имеют следующие конструктивные слои: покрытие, основание и дополнительные слои основания.

Покрытие непосредственно воспринимает нагрузки и обеспечивает безопасный проезд автомобилей с расчетной скоростью. Покрытие можно строить из неармированного или армированного цементобетона [1]. Типовые конструкции дорожных одежд с монолитным цементобетонным покрытием [5] приведены на рисунке 1.

Выравнивающий слой предназначен:

- устранить неровности на основаниях;
- обеспечить перемещение плит покрытия при изменении температуры;
- равномерно распределить давление от автомобилей;
- уменьшить напряжения в плитах при их короблении;
- повысить стойкость поверхностного слоя основания.

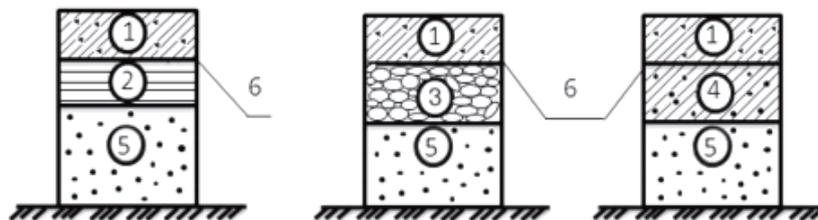


Рисунок 1. – Варианты дорожной одежды

Выравнивающий слой допускается не устраивать на основаниях из низкомарочного бетона или грунтов и каменных материалов I класса прочности, укрепленных цементом. При этом должны быть соблюдены следующие условия:

- цементогрунт приготовлен в смесительной установке;
- обеспечена ровность поверхности основания за счет чистового профилирования в соответствии с СП на строительство автомобильных дорог;
- осуществлен уход за цементогрунтом пленкообразующим материалом, как правило, с применением катионоактивной битумной эмульсии (расход 1-1,5 л/м<sup>2</sup>) или поверхностной обработки толщиной 0,6 см в виде россыпи с прикаткой (на 1 м<sup>2</sup> 10 л, около 17 кг) гранитных высевок, обработанных 3 л катионоактивной битумной эмульсии. Допускается применять пленкообразующий материал, используемый для ухода за бетоном.

Дополнительные слои основания выполняют морозозащитные, дренирующие и теплоизолирующие функции.

Минимальная толщина основания из песка, включая дополнительный слой (морозозащитный, дренирующий) зависит от вида грунта земляного полотна и дорожно-климатической зоны, но должна быть не менее величин, приведенных в таблице 1. Толщину бетонных покрытий дорог I-III категорий [2] следует назначать по расчету с учетом опыта эксплуатации дорог, но не менее приведенной в таблице 2.

В состав подготовительных работ входят: Проверка соответствия основания под монолитное цементобетонное. Проверка поверхности основания, которая должна быть очищена. Устройство технологического уширения для прохождения бетоноукладочного комплекта при устройстве покрытия, если оно не предусмотрено проектом. Укладка прокладки из полиэтиленовой пленки. На поверхности основания укладывают прокладку из двухслойной полиэтиленовой пленки. Прокладка из полиэтиленовой пленки должна быть уложена и закреплена на всю ширину основания. Прокладка раскладывается внахлест (от 15 до 20 см) в поперечном и продольном направлениях и прикрепляется к слою основания дюбелями и шайбами. Прокладка должна плотно прилегать к поверхности слоя основания. Расстояние между дюбелями уточняется при пробной раскладке прокладки. При укладке цементобетонной смеси комплектом машин, оборудованных следящей системой за вертикальными отметками, на всю длину захватки устанавливают стойки с натянутой копирной струной (рисунок 2).

Таблица 1. – Дорожно-климатические зоны

Дорожно-климатическая зона				
Грунт земляного полотна	II	III	IV	V
	Минимальная толщина основания из крупного или среднего песка (см)			
Песок мелкий (пылеватый)	15	10	10	10
Супесь	25	20	15	10
Тяжелый суглинок или глина	30	25	20	15
Пылеватый суглинок	35	25	20	20

Таблица 2. – Категория дорог в зависимости от расчетной интенсивности движения

Категория дорог в зависимости от расчетной интенсивности движения( авт./сут.)						
Материал основания	I		II		III	
Каменные материалы или грунты, укрепленные цементом и другими неорганическими вяжущими	24	22	22	20	18	18
Грунты, укрепленные органическими вяжущими; щебень, шлак	-	-	22	20	18	18
Песок, гравийно-песчаные смеси	-	-	-	22	20	18



Рисунок 2. – Стойки с натянутой копирной струной

После завершения работ по устройству цементобетонного покрытия копирные струны демонтируют. Допускается использование лазерной системы контроля обеспечения высотного уровня и курса движения бетоноукладчика.

Установка арматуры и штырей в швах сжатия. Арматура должна быть выправлена, очищена от грязи, масел, ржавчины и окалины. Арматуру следует устанавливать после окончательной отделки, планировки и уплотнения основания или выравнивающего слоя. Каркасы изготавливаются на отдельно выделенной площадке и доставляются к месту монтажа бортовым автомобилем.

Укладка цементобетонной смеси [10]. Комплект машин со скользящими формами и операции по приготовлению, транспортированию и укладке бетонной смеси должны быть выбраны и увязаны между собой таким образом, чтобы бетонная смесь непрерывно укладывалась в течение всего времени сохранения ее удобоукладываемости. Между заводом по изготовлению бетонной смеси и производителем работ необходимо наладить постоянную связь для оперативной корректировки свойств бетонной смеси. Предварительное распределение бетонной смеси производится распределителем. Бетонную смесь распределяют с учетом припуска на уплотнение. Технологический разрыв между распределителем смеси и бетоно-

укладчиком составляет от 10 до 30 м. Уплотнение бетонной смеси и отделку поверхности покрытия при устройстве его в скользящих формах следует осуществлять бетоноукладчиком на гусеничном ходу, входящим в комплект машин.

Высота основных боковых форм (скользящей опалубки) и опалубки кромкообразователя должна быть приблизительно на 5 мм меньше толщины слоя укладываемого бетона. Расстояние между боковыми формами (опалубки) кромкообразователя должно быть от 2 до 4 см меньше проектной ширины покрытия. Край кромкообразующего узла должен быть приподнят от 1 до 3 см выше поверхности покрытия. Окончательную настройку рабочих органов бетоноукладчика следует производить при пробном бетонировании, используя бетонную смесь рабочего состава.

В процессе укладки бетонной смеси следует тщательно контролировать геометрические параметры, ровность поверхности и качество кромки свежееотформованного бетонного покрытия и в случае необходимости дополнительно регулировать рабочие органы бетоноукладчика. Бетоноукладчик должен перемещаться непрерывно и с постоянной скоростью. Скорость движения бетоноукладчика должна быть увязана с подвижностью бетонной смеси и соответствовать данным таблицы 3.

Таблица 3. – Скорость движения бетоноукладчика

Скорость движения бетоноукладчика, м/мин	Подвижность (осадка конуса), см
≤ 2	1 – 3
2 – 2,5	2 – 4
2,5 – 3	3 – 5

В процессе бетонирования глубинные вибраторы бетоноукладчика должны быть полностью погружены в смесь. Характерным признаком нормального протекания процесса уплотнения служит интенсивное «кипение» бетонной смеси, сопровождающееся выделением пузырьков воздуха. При армировании продольного шва глубинный вибратор в зоне погружения штырей должен быть установлен перпендикулярно оси дороги.

В случае устройства железобетонного или армобетонного покрытия подача смеси в устраиваемый ряд осуществляется по транспортерной ленте через бункер распределителя. Выгрузка бетонной смеси в бункер распределителя должна осуществляться следующим образом:

- распределитель прекращает свое движение (останавливается);
- автосамосвал задним ходом подается к бункеру распределителя;
- приводится в движение транспортерная лента приемного бункера;
- смесь из кузова автомобиля-самосвала равномерным потоком выгружается в бункер;
- смесь из бункера подается транспортерной лентой на основание перед распределителем бетонной смеси.

После того, как распределитель распределит бетонную смесь на первых 10 м или 15 м, необходимо опустить его рабочие органы так, чтобы припуск бетонной смеси составил от 3 до 5 см, обеспечивающий постоянный вал смеси перед бетоноукладчиком. В процессе бетонирования перед бетоноукладчиком постоянно должен быть вал бетонной смеси, глубинные вибраторы должны быть погружены в бетонную смесь. Режимы работы рабочих органов бетоноукладчика в процессе укладки должны быть следующими: количество ударов трамбующего бруса – от 60 ударов в минуту до 80 ударов в минуту; количество оборотов валов глубинных вибраторов в зависимости от подвижности бетонной смеси – от 7000 до 8000 оборотов в минуту. Если в проекте предусмотрены штыревые соединения в швах сжатия, установка их в проектное положение производится методом вибропогружения в бетонную смесь шты-

рей с помощью дополнительного оборудования установленного на бетоноотделочной машине. После прохождения бетоноукладчика на поверхности свежеложенного покрытия не должно быть дефектов в виде раковин и неровностей, устранение которых осуществляется вручную. Чистовую отделку свежеложенного бетонного покрытия следует осуществлять с помощью инвентарных гладилок. Для удаления излишков влаги с поверхности свежеложенного покрытия необходимо использовать многослойное «джутовое» полотно или мешковину, закрепленные на специальном передвижном мостике или непосредственно на бетоноукладчик. Необходимо промывать «джутовое» полотно или мешковину по мере накопления влаги и цементного раствора на них. Шероховатость на поверхность свежеложенного бетона наносится штатной металлической или капроновой щеткой поперечными проходами. При возможных остановках запрещается выключать двигатели бетоноукладчика. При возобновлении движения бетоноукладчика после длительной остановки возможно появление дефектов поверхности покрытия, которые только после проработки глубинным вибратором с передвижным мостиком отделяются ручными гладилками. В случае оплывания вертикальных граней бетонизируемых маячных полос следует предусмотреть применение облегченной приставной инвентарной опалубки (см. рисунок 4). Для защиты свежеложенного цементобетонного покрытия от атмосферных осадков и солнечной радиации при температуре воздуха более плюс 25 °С необходимо устанавливать в процессе укладки специальные средства защиты (передвижные тенты), общая длина которых должна составлять не менее 100 погонных метров. При снижении температуры воздуха ниже плюс 25 °С и прекращении атмосферных осадков специальные средства защиты (передвижные тенты) снимают.

Уход за свежеложенным бетоном. Уход за свежеложенным бетоном, нанесение шероховатости и пленкообразующего материала производится машиной комплекта, которая должна быть установлена по оси обрабатываемой полосы (ряда) и двигаться по копирным струнам, в автоматическом режиме. Уход за свежеложенным бетоном должен производиться сразу после появления матовой поверхности (исчезновения с покрытия влаги). Для ухода следует применять пленкообразующий материал на основе водной дисперсии, который должен наноситься на поверхность в два слоя с нормой расхода от 200 до 250 г/м<sup>2</sup> для каждого слоя.

Устройство швов в цементобетонном покрытии. Устройство рабочих швов. В конце каждой захватки устраивается поперечный рабочий шов. Рабочие швы должны образовывать одну прямую линию перпендикулярную продольной оси и совпадать со швом расширения или сжатия цементобетонного покрытия. По окончании строительства покрытия или при вынужденных длительных перерывах в укладке бетона устраивают рабочие швы, которые обеспечивают сопряжение смежных участков покрытия (см. рисунок 3).

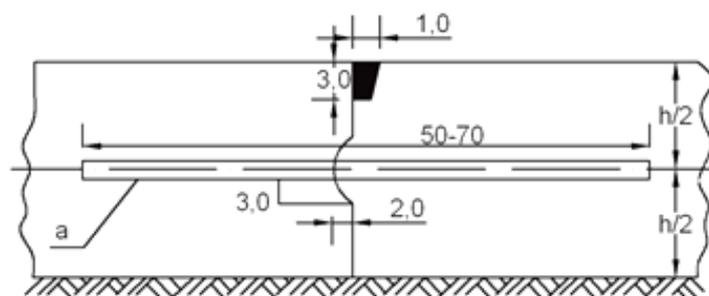


Рисунок 3. – Рабочий шов

Устройство деформационных швов в затвердевшем бетоне. Пазы деформационных швов следует нарезать нарезчиком с применением алмазных дисков при достижении бетоном прочно-

сти при сжатии в пределах от 8 до 10 МПа. Поперечные швы должны быть нарезаны перпендикулярно продольной оси покрытия. Продольный шов должен представлять непрерывную линию, расположенную по середине покрытия. Время начала нарезки швов в пределах до 24 часов от начала бетонирования следует определять на основании лабораторных данных о твердении бетона или уточнять путем пробной нарезки. При нарезке не должно быть выкрашивания кромок швов более 3 мм. Швы сжатия необходимо нарезать подряд (последовательно по полосе бетонирования). При суточных перепадах температуры воздуха менее 12 °С пазы для поперечных швов сжатия в покрытии, устраиваемом в первой половине дня, следует нарезать в те же сутки.

Перед заливкой нового слоя бетона опалубка демонтируется.

В некоторых случаях возникает необходимость нарезать температурные швы в готовом бетоне. Нарезаются они согласно предварительно разработанной схеме, для производства работ используется специальный нарезчик с водяным охлаждением. Поперечные швы нарезаются строго перпендикулярно к продольной оси дороги, продольный шов должен быть непрерывным. Нарезание швов нужно начинать через 24 часа после заливки. Сразу после нарезки швы промываются водой под большим давлением и просушиваются сжатым воздухом. Для заполнения применяются специальные наполнители.

При строительстве дорожных одежд с цементобетонными покрытиями следует контролировать производство работ в соответствии с действующими нормативными документами ГОСТ 28570-2019[4]. До начала поставки бетонной смеси заданного качества потребитель получает информацию от производителя о характеристиках используемых материалов и составе бетонной смеси, а также результаты предварительных испытаний бетонных смесей и бетонов данного состава. Результаты приемо-сдаточных и периодических испытаний всех нормируемых показателей бетонной смеси должны сообщаться потребителю в документе по приложению Г ГОСТ 7473[10].

Цементобетон применим для большего температурного диапазона, но по технологии укладки это более сложное и «капризное» полотно. Если цементобетон уложить неправильно, нарушив технологию, то после дождя на таком покрытии останется лужа, которая в другом случае могла бы уйти в минеральное основание через асфальтобетон. Поэтому цементобетон помимо серьезных лабораторных испытаний требует также профессионализма и высокой культуры производства работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СТО НОСТРОЙ 2.25.41-2011. Устройство цементобетонных покрытий автомобильных дорог СТО НОСТРОЙ 2.25.41-2011.
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02.85\* (с изменениями № 1,2);
3. СТО 02069024.101–2015 Работы Студенческие. Общие требования и правила оформления.
4. ГОСТ 28570-2019 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.
5. ВСН 197-91 по проектированию жестких дорожных одежд.
6. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд 2009.
7. Содержание и ремонт автомобильных дорог: моногр. / С.И. Булдаков, Ю.Д. Силуков, М.Д. Малиновских. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 200 с.
8. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. I, II. - М.: Транспорт, 1979. - 367 с.
9. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника/ Васильев А.П., Боловнев В.И., Корсунский М.Б. и др. Под ред. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1989. - 287 с.
10. ГОСТ 7473 Смеси бетонные. Технические условия (с Поправкой).

УДК 625.8

## АКУСТИЧЕСКИЕ ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ

А.А. Хвостова<sup>1</sup>, Н.Н. Антоненко<sup>2</sup>, С.А. Орехов<sup>3</sup>, С.А. Дергунов<sup>4</sup>

Оренбургский Государственный Университет, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup> [khvastova\\_anastasia07@mail.ru](mailto:khvastova_anastasia07@mail.ru), <sup>2</sup> [nik-antonenko1998@mail.ru](mailto:nik-antonenko1998@mail.ru), <sup>3</sup> [saorehov@inbox.ru](mailto:saorehov@inbox.ru),  
<sup>4</sup> [dergunow79@mail.ru](mailto:dergunow79@mail.ru)

*В данной статье рассмотрены общие понятия об акустических дорожных покрытиях. Были изучены известные способы нанесения и создания шумовых полос на поверхность дорожного покрытия, выявлены их преимущества и недостатки.*

*Шумовые полосы на автодорожных покрытиях широко используются для обеспечения безопасности дорожного движения. Шумовые полосы подают водителю сигнал при съезде с дороги или пересечении разделительной полосы, что значительно сокращает количество дорожно-транспортных сооружений.*

**Ключевые слова:** акустические дорожные покрытия, вибрации, звук, шум, частоты, безопасность, шумовые полосы.

## ACOUSTIC ROAD SURFACES

A. Khvastova<sup>1</sup>, N. Antonenko<sup>2</sup>, S. Orekhov<sup>3</sup>, S. Dergunov<sup>4</sup>

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: <sup>1</sup> [khvastova\\_anastasia07@mail.ru](mailto:khvastova_anastasia07@mail.ru), <sup>2</sup> [nik-antonenko1998@mail.ru](mailto:nik-antonenko1998@mail.ru), <sup>3</sup> [saorehov@inbox.ru](mailto:saorehov@inbox.ru),  
<sup>4</sup> [dergunow79@mail.ru](mailto:dergunow79@mail.ru)

*This article discusses the general concepts about acoustic road surfaces. The well-known methods for applying and creating noise bands on the surface of the road surface were studied, their advantages and disadvantages were revealed.*

*Noise strips on road coatings are widely used to ensure road safety. Noise bands give the driver a signal when a distance from the road or intersection of the separation strip, which significantly reduces the number of road transport facilities.*

**Keywords:** Acoustic road surfaces, vibrations, sound, noise, frequency, safety, noise stripes.

**Введение.** Главной сложностью водителя является потеря бдительности на автомобильной дороге. Длительный и дорожное покрытие приводит к снижению концентрации и сонливости водителей, и, как следствие, к дорожно-транспортным происшествиям.

Важным элементом обеспечения безопасности дорожного движения является создание шероховатых шумовых краевых полос. Шум, который создаётся шинами транспортного средства при его движении с высокой скоростью является основным источником внешнего акустического излучения.

**Основная часть.** В настоящее время существуют акустические дорожные покрытия, которые способны передавать вибрации через шум колёс автотранспорта так, что в результате соприкосновения колеса с покрытием дороги можно услышать мелодию.

Первой акустической дорогой является Асфальтофон (Asphaltophone), созданной в октябре 1995 года, в Дании. Здесь математические вычисления и музыкальная грамотность стали главной причиной создания музыкальных дорог. Подобные дорожные покрытия насчитываются и в Южной Корее, Японии и Соединенных Штатах Америки.

Такое дорожное покрытие представляет собой участок дороги с поперечными бороздками, которые имеют разную ширину и глубину, создавая, при движении по ним транспорта, низкие и высокие частоты, эти частоты мелодию.

Дороги разрабатываются таким образом, что услышать музыку можно при определенной скорости, призывая водителей соблюдать скоростной режим и ППД.

У таких акустических дорожных покрытий недостатком считается высокая трудоемкость их изготовления, включающий в себя точный расчет, а также износ из-за их интенсивной эксплуатации движущимися автомобилями.

Для безопасности дорожного движения в России используются другие инженерные системы. Помимо предупреждающих знаков и систем видеофиксации стали чаще использоваться шумовые полосы.

Шумовая полоса представляет собой искусственную неровность в виде сменяющихся поперечных полос на поверхности дорожного покрытия.

Для большей видимости на её поверхность наносят светоотражающие полосы, что значительно увеличивает её видимость в ночное время и при плохих погодных условиях.

Установка такой полосы легко демонтируется и заменяется. При движении по ним автотранспорта водитель чувствует шумовое и вибрационное воздействие.

Самым распространенным способом создания шумовых полос является фрезерованные продольные полосы. Так, при фрезеровании на асфальтобетонном покрытии толщина верхнего слоя должна быть больше глубины нарезки шумовых полос так, чтобы не деформировалась общность между верхним и нижними слоями.

У данного метода есть свои недостатки, например, затруднительность их изготовления, износ и изменение формы полос при их эксплуатации, потребность время от времени в чистке полос от грязи и устранения в них посторонних предметов.

Областью применения шумовых полос считаются опасные участки автомобильных дорог с высокой интенсивностью и напряженностью движения.

Но, кроме фрезерования, существуют другие новые технологии установки шумовых полос, без существенного разрушения дорожной одежды, к примеру, нанесение термопластика либо структурная разметка.

Сейчас самым общеизвестным материалом, принятым при создании шумовых полос, является термопластик. Такой способ более удобен, чем фрезерование, он позволяет сохранять целостность дорожного покрытия. Такие полосы можно окрашивать в желтый цвет, для привлечения внимания водителя.

К настоящим преимуществам стоит отнести быструю установку на поверхность дорожного покрытия и минимальное разрушение поверхности дорожной одежды. Установка полос с помощью анкерных болтов может произвести их дальнейшую замену или снятие. На полосах устанавливаются светоотражающие элементы, которые будут отражаться на большом расстоянии, предупреждая водителя о искусственной неровности.

К недостаткам стоит отнести вероятное негативное влияние на конструкцию автотранспорта при движении на больших скоростях. За счет сильных вибраций, которые передаются на колеса, подвеска автомобиля испытывает большие нагрузки.

При условии большой высоты дорожных выступов разумно использовать структурную дорожную разметку, что выполняет те же функции, что и шумовые полосы. Разметка разрабатывается из холодного пластика или термопластика. Её нанесение производится рядом расположенными фрагментами, с виду напоминающие капли.

Нанесение шумовой полосы – это дешевый и действенный метод снижения количества аварий на автомобильных дорогах. От правильно выбранных материалов зависит долговечность конструкции.

**Заключение.** Безопасность дорожного движения направлена на защиту участников дорожного движения. Использование на дорожных покрытиях предлагаемых в данной статье шумовых полос будут способствовать снижению травматизма и смертности на дорогах.

Акустические или музыкальные дорожные покрытия привлекают туристов. Предотвратить аварии или водителей, превысивших скорость такие дороги не могут.

Шумовые полосы эффективны в простоте изготовления и экономичности эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н., Ленца К.Х. Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика (российско-германский опыт) / под ред. В.Н. Луканина, К.Х. Ленца. — М.: Логос, 2002. — 624 с.
2. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.: ил.
3. Пугин К. Г., Юшков В. С. Современные материалы нанесения дорожной разметки: материалы международной научно-практической конференции «Проблемы функционирования систем транспорта», г. Тюмень 18-19 ноября 2010 г. С. 275–278.
4. Разметка автомобильных дорог с применением шумовых полос. Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. VI междунар. науч.-практ. конф. /СибАК. Новосибирск, 2012.
5. Кочетков, А.В. Перспективы развития и актуальные задачи дорожной науки / А.В. Кочетков, Л.В. Янковский // Строительные материалы. 2014. № 7. – С. 62-69.

УДК 666.973.2

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ  
НА ОСНОВЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО ТРОСТНИКА**А.А. Бакатович<sup>1</sup>, Н.В. Бакатович, И.А. Петеренко**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

**Ф. Гаспар**

Политехнический институт г. Лейрия, Португалия

e-mail: <sup>1</sup> [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by)

*Рассмотрены результаты исследований теплоизоляционных плит на основе структурообразующей смеси из измельченного тростника гигантского и соломы. Для обеспечения экологической чистоты и безопасности тепловой изоляции применяли жидкое стекло и сосновую канифоль как вяжущие компоненты. При оценке качества плит кроме физических параметров утеплителей учитывали внешний вид и прочность структуры. Жесткие и прочные теплоизоляционные плиты получены при плотности 176 - 192 кг/м<sup>3</sup> с коэффициентом теплопроводности 0,048 - 0,053 Вт/(м·°С).*

**Ключевые слова:** тростник, солома, коэффициент теплопроводности, плотность.

## PHYSICAL PARAMETERS OF HEAT-INSULATING PLATES BASED ON CRUSHED REED

**A. Bakatovich<sup>1</sup>, N. Bakatovich, I. Peterenko**

Polotsk State University, Republic of Belarus

**F. Gaspar**

Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

e-mail: <sup>1</sup> [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by)

*The results of studies of heat-insulating plates based on a structure-forming mixture of crushed giant reed and straw are considered. To ensure environmental friendliness and safety of thermal insulation, liquid glass and pine rosin were used as binding components. When assessing the quality of the slabs, in addition to the physical parameters of the heaters, the appearance and strength of the structure were taken into account. Rigid and durable heat-insulating plates were obtained at a density of 176 - 192 kg/m<sup>3</sup> with a thermal conductivity coefficient of 0.048 - 0.053 W/(m·°C).*

**Keywords:** reed, straw, thermal conductivity coefficient, density.

**Введение.** Значительным резервом для производства теплоизоляционных материалов в различных регионах мира является растительное сырье. В настоящее время в странах Европы особое внимание в технологиях получения теплоизоляционных материалов уделяется использованию отходов растительного происхождения. По происхождению можно выделить два основных источника растительного сырья в качестве структурообразующего материала для изготовления теплоизоляции. К первому источнику относятся отходы растениеводства, а ко второму растительные материалы природного происхождения.

Ряд исследователей [1 - 5] отмечает, что по теплоизоляционным свойствам растительные материалы, такие как конопля, пробковые отходы, древесные волокна, волокна и очесы льна, рисовая лузга, отходы хлопковых волокон могут успешно конкурировать с пенополистиролом и каменной ватой. В этой связи исследования, направленные на получение нового теплоизоляционного материала на основе растительного сырья, а также поиск нового экологиче-

ски безопасного вяжущего обеспечивающего снижение сорбционной влажности утеплителя являются весьма актуальными.

**Основная часть.** Структурообразующую смесь для теплоизоляционных плит формировали на основе измельченного стебля арундо тростникового (тростника гигантского) (рисунок 1). Наиболее часто встречается в южных регионах Европы (включая Португалию и Испанию), а также Турции. В высоту тростник может достигать 6 м, а в диаметре до 40 мм. Стебель тростника полый внутри и толщина стенки составляет 3 - 6 мм.

Вторым компонентом заполнителя при изготовлении теплоизоляционных плит являлась солома ржи, получаемая в больших объемах во многих регионах. Солома представляет собой сухие стебли, остающиеся после обмолота зерна.



Рисунок 1. – Арундо тростниковый (г. Лейрия, Португалия)

Очищенные от листьев, стволы тростника во влажном состоянии нарезали на цилиндры длиной 30-50 мм на ленточной пиле и загружали в шаровую мельницу. После измельчения влажную массу извлекали из шаровой мельницы и производили сушку частиц в сушильных камерах. Затем с использованием стальных сит выполняли фракционирование частиц тростника. Для переработки соломы использовали кормовой измельчитель.

В качестве вяжущего применяли натриевое жидкое стекло, производимое на ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» (Беларусь) и отвечающее требованиям ГОСТ 13078. Известь и гипс использовали в виде модификаторов для снижения растворимости жидкого стекла.

Образцы утеплителей также формовали с применением сосновой канифоли, получаемой из живицы – смолянистого вещества, выделяемого хвойными деревьями при их механическом повреждении. В исследованиях использовали канифоль сосновую марки А производства ООО «СДС-Группа» (Россия). Канифоль применяли в виде тонкодисперсного порошка. Предварительно канифоль измельчалась и просеивалась через сито №0.315. В итоге получали светло-желтый порошок.

Коэффициент теплопроводности экспериментальных утеплителей измеряли согласно СТБ 1618 «Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме» на образцах–плитах размером 250×250×30 мм.

В первой серии образцов заполнитель перемешивали с модифицированным жидким стеклом. Предварительно производили дозировку компонентов. В жидкое стекло вводили сначала известь и перемешивали до однородной консистенции, а затем добавляли гипс. Сырьевую

смесь равномерно укладывали в форму и подпрессовывали. Образцы выдерживали в форме 4 часа при температуре  $20 \pm 2$  °С, а затем высушивали в течение 12 часов в сушильном шкафу при температуре 40 - 45 °С. После определяли среднюю плотность и теплопроводность плит.

Во второй серии структурообразующую смесь перемешивали с порошком канифоли и образцы плит выдерживали в сушильном шкафу при температуре 90°С.

Для определения массы образцов и сырьевых материалов использовали настольные электронные весы. Сушку сырьевых материалов и образцов теплоизоляционных плит производили в сушильном шкафу.

Предварительно проводились исследования структурообразующих материалов – тростника и соломы. Установлено, что наилучшие показатели коэффициента теплопроводности измельченного тростника равные 0,057 – 0,059 Вт/(м·°С) при плотности 139 – 144 кг/м<sup>3</sup> обеспечивает измельченный тростник фракцией > 0,25-2,0 мм.

Замена части тростника измельченной соломой в виде мелких пластинок длиной 5-10 мм и шириной 1-2 мм обеспечило существенное снижение теплопроводности заполнителя. Наименьшие коэффициенты теплопроводности 0,045 и 0,046 Вт/(м·°С) по результатам испытаний получен при плотности 140 – 160 кг/м<sup>3</sup>. Более подробно данные исследования рассмотрены в работе [6].

В качестве связующего для изготовления образцов-плит использовали жидкое стекло. Вяжущее обладает хорошей адгезией к основаниям растительного происхождения. Кроме того, жидкое стекло безопасно для окружающей среды. Соотношение тростника и соломы принято 70:30 и 50:50. Расход смеси заполнителя на образец плиту составил 250 – 300 г. Жидкое стекло вводили в количестве 40 – 70 г по сухому веществу. Формовку образцов-плит размером 250×250×30 мм производили под давлением 0,02 МПа. Образцы выдерживали в форме 5-6 часов, затем извлекали и в течение 8-9 часов высушивали в камере при температуре 40-50 °С. На полученных образцах-плитах (рисунок 2) исследовали влияние расхода жидкого стекла и смеси заполнителя, соотношения компонентов заполнителя на теплопроводность и плотность.



Рисунок 2. – Тростниково-соломенная плита на жидком стекле

Результаты испытаний теплоизоляционного материала на основе тростника с добавлением соломы представлены в таблице 1. По результатам испытаний построены графики изменения коэффициента теплопроводности от расхода жидкого стекла (рисунки 3, 4). Установлено, что увеличение дозировки жидкого стекла с 40 г до 70 г приводит к увеличению коэффициента теплопроводности на 10 - 15 % и плотности на 12 -16 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1. – Составы и свойства тростниковосоломенных плит на жидком стекле

№ состава	Масса образца, г	Соотношение тростника к соломе	Расход на образец-плиту			Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Состояние плиты
			заполнитель, г	жидкое стекло, г	вода, г			
1	340	70:30	300	40	510	185	0,057	Поверхностное шелушение Жесткая Жесткая
2	355	70:30	300	55	485	189	0,059	
3	355	70:30	300	70	455	197	0,064	
4	310	70:30	270	40	510	165	0,054	Слабосвязанная структура Слабосвязанная структура Поверхностное шелушение
5	325	70:30	270	55	485	176	0,057	
6	340	70:30	270	70	455	181	0,062	
7	290	70:30	250	40	510	155	0,061	Слабосвязанная структура Слабосвязанная структура Поверхностное шелушение
8	305	70:30	250	55	485	163	0,063	
9	320	70:30	250	70	455	170	0,068	
10	340	50:50	300	40	510	181	0,054	Поверхностное шелушение Жесткая Жесткая
11	355	50:50	300	55	485	189	0,056	
12	370	50:50	300	70	455	197	0,059	
13	310	50:50	270	40	510	165	0,051	Поверхностное шелушение Жесткая Жесткая
14	325	50:50	270	55	485	176	0,053	
15	310	50:50	270	70	455	181	0,057	

При соотношении тростника к соломе 70:30 наименьшие показатели теплопроводности получены на расходе заполнителя 270 и 300 г. Для составов 4, 5 коэффициенты теплопроводности составили 0,054 и 0,057 Вт/(м·°С) и является минимальными. Однако следует отметить слабосвязанную структуру образцов, что объясняется недостаточным количеством жидкого стекла. Плиты при незначительном усилии разрушались. При увеличении дозировки жидкого стекла (состав б) формировалась более прочная структура, но происходило поверхностное шелушение заполнителя. Кроме того, возрастал коэффициент теплопроводности плит на 15 %.

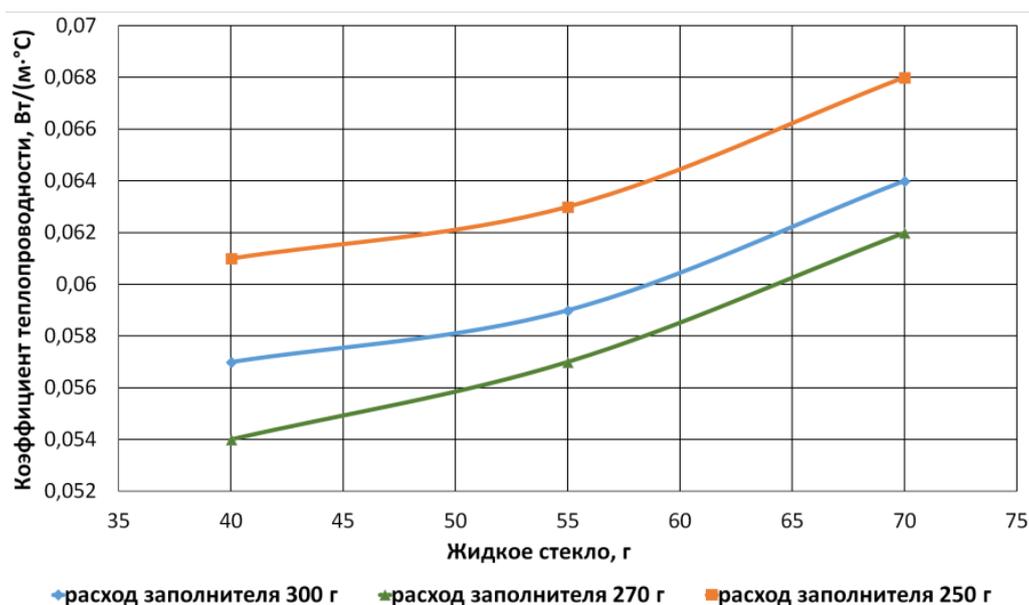


Рисунок 3. – Зависимость коэффициента теплопроводности от расхода жидкого стекла при соотношении тростника и соломы 70:30

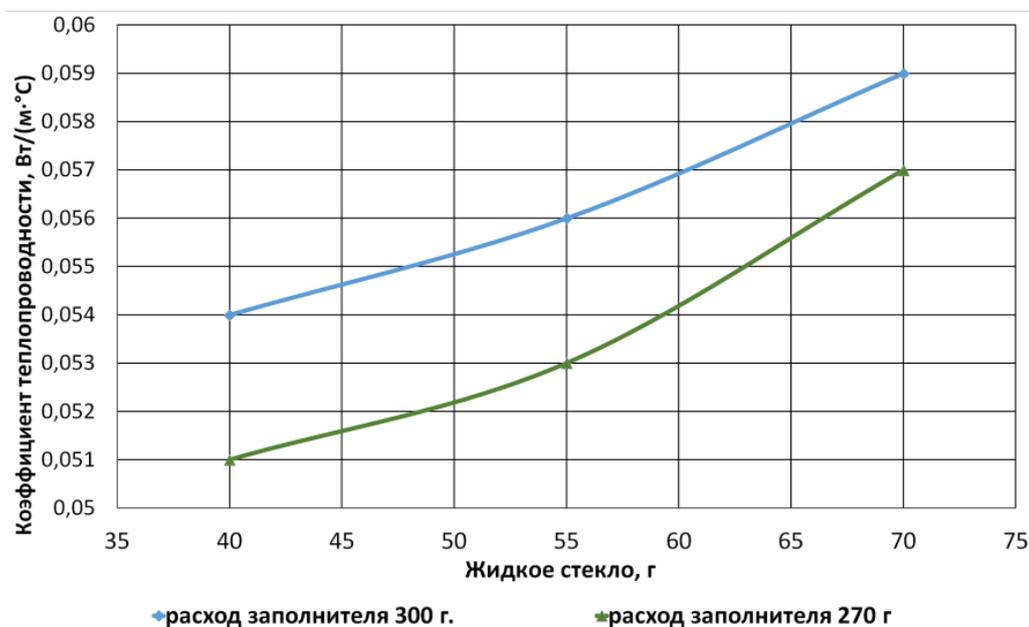


Рисунок 4. – Зависимость коэффициента теплопроводности от расхода жидкого стекла при соотношении тростника и соломы 50:50

Жесткие и прочные плиты получены при плотности 300 г (составы 2, 3). Коэффициент теплопроводности составов 2,3 в среднем на 12% превышает значения составов 4, 5.

Для понижения коэффициента теплопроводности в составах 10 – 15 увеличили расход измельченной соломы до 50% от общей массы. При расходе жидкого стекла в количестве 40 г на плитах составов 10 и 13 наблюдалось поверхностное шелушение при проведении ладонью по грани. На составах 11, 12, 14, 15 получены жесткие прочные плиты. Минимальный показатель теплопроводности 0,053 Вт/(м·°С) достигнут на образцах состава 14, что на 11% ниже показателей жестких плит состава 2.

Не смотря на достаточно низкий коэффициент теплопроводности плит состава 14 проведены дополнительные исследования по использованию в качестве вяжущего канифоли, получаемую из смолы сосны. Предварительно определены коэффициенты теплопроводности вяжущих для чего формовали плиты из жидкого стекла и канифоли. По результатам испытаний установлено, что коэффициент теплопроводности жидкого стекла в сухом состоянии равен 0,305 Вт/(м·°С), а коэффициент теплопроводности канифоли составил 0,102 Вт/(м·°С). Значительно более низкий показатель канифоли (в 3 раза меньше) позволяет прогнозировать снижение теплопроводности теплоизоляционных плит в случае применения данного вяжущего.

Исследования с применением канифоли проводили на составах с соотношением тростника и соломы 50:50. Расход порошка канифоли варьировали в пределах 30 – 120 г на образец плиты. Плотность плит изменялась от 160 до 208 кг/м<sup>3</sup>. Результаты исследований приведены в таблице 2. По полученным данным построены зависимости изменения коэффициента теплопроводности от расхода канифоли (рисунок 5).

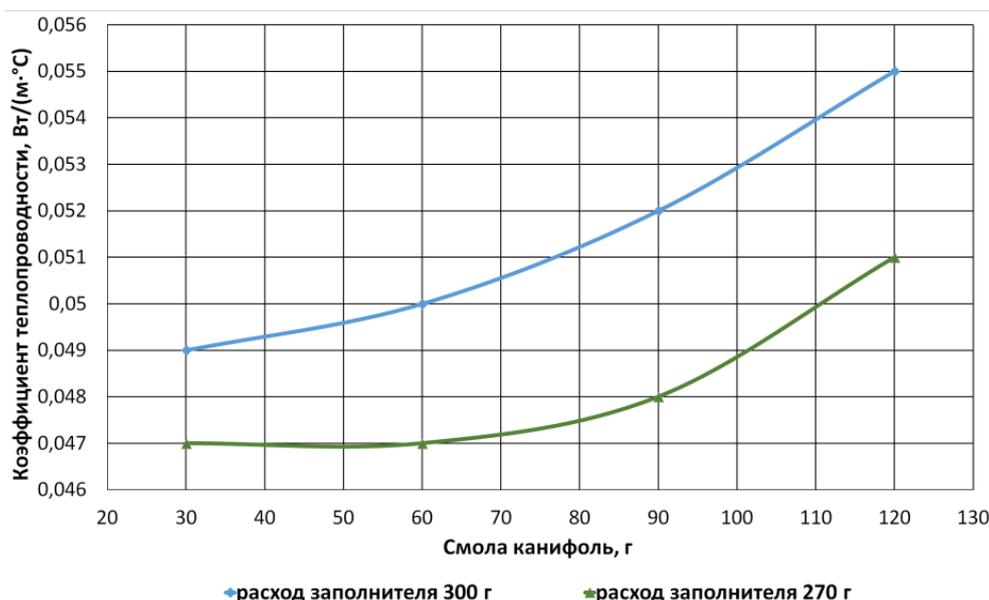


Рисунок 5. – Зависимость коэффициента теплопроводности от расхода канифоли

Повышение расхода канифоли способствует постепенному увеличению коэффициента теплопроводности. По причине низкой теплопроводности вяжущего при увеличении расхода канифоли в 4 раза с 30 до 120 г коэффициент теплопроводности образцов плит увеличивается только на 0,004 – 0,006 Вт/(м·°С).

Жесткие и прочные плиты отформованы на составах 3, 4, 6 – 8. Минимальный показатель теплопроводности 0,048 Вт/(м·°С) получен при расходе заполнителя 270 г и канифоли 90 г на плиту (состав 3). Теплопроводность состава 3 ниже на 10% показателя состава 14 и меньше на 19% показателя состава 2 (таблица 1).

Таблица 2. – Составы и свойства тростниково-соломенных плит на канифоли

№ состава	Расход на образец-плиту		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Состояние плиты
	заполнитель, г	канифоль, г			
1	270	30	160	0,047	Слабосвязанная структура
2	270	60	176	0,047	Поверхностное шелушение
3	270	90	192	0,048	Жесткая
4	270	120	208	0,051	Жесткая
5	300	30	160	0,049	Слабосвязанная структура
6	300	60	176	0,05	Жесткая
7	300	90	192	0,052	Жесткая
8	300	120	208	0,055	Жесткая

**Заключение.** По результатам испытаний установлено, что коэффициент теплопроводности канифоли составляет 0,102 Вт/(м·°С), что в 3 раза ниже показателя жидкого стекла. Низкий коэффициент теплопроводности канифоли обуславливает перспективность использования как вяжущего материала для тепловой изоляции.

Использование жидкого стекла при введении измельченной соломы в количестве 50% от общей массы заполнителя позволяет получить жесткие тростниково-соломенные плиты плотностью 176 кг/м<sup>3</sup> с показателем теплопроводности равным 0,053 Вт/(м·°С).

Низкий коэффициент теплопроводности тростниково-соломенного утеплителя равный 0,048 Вт/(м·°С) при плотности 192 кг/м<sup>3</sup> удается достичь за счет оптимально подобранных фракций и соотношения заполнителей из измельченного тростника и соломы, а также применения в качестве вяжущего порошка канифоли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. Pennacchio, L. Savio, D. Bosia, F. Thiebat, G. Piccablotto, A. Patrucco, S. Fantucci, Fitness: Sheep-wool and Hemp Sustainable Insulation Panels, Energy Procedia. 111 (2017) 287–297. doi:10.1016/j.egypro.2017.03.030.
2. C. Ingraio, A. Lo Giudice, J. Bacenetti, C. Tricase, G. Dotelli, M. Fiala, V. Siracusa, C. Mbohwa, Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review, Renew. Sustain. Energy Rev. 51 (2015) 29–42. doi:10.1016/j.rser.2015.06.002.
3. Plityteploizolyacionnyezvukopogloshchayushchie. Opytnayapartiya. Tekhnicheskiesloviya TU BY 391129716.001-2015. Vveden 27.07.2015. Orekhovsk. 2015. – 10 s.
4. C. Buratti, E. Belloni, E. Lascaro, F. Merli, P. Ricciardi, Rice husk panels for building applications: thermal, acoustic and environmental characterization and comparison with other innovative recycled waste materials, Constr. Build. Mater. 171 (2018) 338–349. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.03.089.
5. M. Rozyyev, Thermal insulation material using waste cotton production as a placeholder. European and National Dimension in Research, Technology: Electronic collected materials of XI Junior Researchers, Conference, Polotsk stage University. Novopolotsk, 2019. – pp. 64–66.
6. Гаспар Ф., Бакатович А., Бакатович Н., Петеренко И. Оценка эффективности структурообразующей композиции на основе тростника гигантского для производства теплоизоляционного материала // Электронный сборник статей Международной научной конференции «Актуальные проблемы архитектуры белорусского Подвинья и сопредельных регионов», г. Новополоцк, 26 - 27 ноября 2020 г. / Полоцкий государственный университет, 2020 - с. 181-186.

УДК 691.5

## КОМПОЗИЦИОННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ТВЕРДЕНИЯ

*Т.В. Лагизова<sup>1</sup>, В.Н. Рубцова<sup>2</sup>*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup> [tanya-lagizova@mail.ru](mailto:tanya-lagizova@mail.ru), <sup>2</sup> [ruvani@mail.ru](mailto:ruvani@mail.ru)

*Анализ литературных источников и проведенный патентный поиск показывают, что водостойкие гипсовые вяжущие, а также композиты и изделия на их основе являются перспективными материалами для широкого использования в строительстве, освоение производства которых может позволить заменить традиционно используемый для их изготовления портландцемент. Совершенствование технологии приготовления и изучение добавок различного механизма действия на свойства вяжущих позволят расширить области их применения в строительной индустрии. Данная работа является продолжением исследований разработанных нами ранее составов гипсовых композиционных вяжущих повышенной водостойкости. Установлено, что образцы, хранящиеся во влажных условиях в течение полутора лет, не подвергаются растрескиванию и сохраняют свою прочность.*

**Ключевые слова:** гипсовое вяжущее, повышенная водостойкость, длительное твердение, прочность.

## LONG HARDENING COMPOSITE GYPSUM BINDER

*T. Lagizova<sup>1</sup>, V. Rubtsova<sup>2</sup>*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: <sup>1</sup> [tanya-lagizova@mail.ru](mailto:tanya-lagizova@mail.ru), <sup>2</sup> [ruvani@mail.ru](mailto:ruvani@mail.ru)

*Analysis of the literature and patent searches demonstrate that water-resistant gypsum binder, materials and products based on them are the promising direction of production in the construction industry. Development of the production of this type of materials can make it possible to replace the portland cement traditionally used for their manufacture. The improvement of the preparation technology and the research of the additives of various mechanisms of action on the properties of binders expanded the field of their application in the construction. This work is a continuation of research developed by us earlier formulations of gypsum composite binders that increased water resistance. It was founded that samples stored in humid conditions for one and a half years were not cracking and retain their strength.*

**Keywords:** gypsum binder, increased water resistance, long hardening, structure of matter, strength.

Получение композиционных гипсовых вяжущих веществ (КГВ) для сухих строительных смесей и материалов обусловлено необходимостью расширить использование экологически чистых, экономичных по материало- и энергоемкости строительных материалов. По оценкам экспертов, объем производства гипса в Российской Федерации в период с января по август 2019 года увеличился на 2,3% по сравнению с тем же периодом в 2018 года и составил 2 906 тыс. тонн [1]. В связи с ростом стоимости портландцемента и его дефицитом, использование гипсовых композиционных материалов для строительства может быть своевременным решением.

Минерально-сырьевая база РФ обладает неограниченными запасами повсеместно распространенных месторождений природного гипса, являющиеся объективной составляющей для существенного увеличения производства гипсовых материалов и изделий. Это подтверждается низкой топливо- и энергоемкостью их производства, простотой технологического процесса. Серьезным преимуществом гипсовых материалов для строительства зданий и сооружений различного назначения является быстрота схватывания и твердения, в сравнении с портландцементом, что создает возможности для их востребованности [2].

Рост эффективности гипсовых строительных материалов связан не только с созданием новых составов и смесей, но и с модификацией ныне известных и промышленно выпускаемых композиционных гипсовых смесей и гипсовых вяжущих [3]. К настоящему времени установлено, что введение в гипсовое вяжущее веществ, вступающих с ним в химическое взаимодействие с образованием водостойких и твердеющих в воде продуктов как в результате химической реакции, так и вследствие собственной гидратации – является одним из основных путей повышения его водостойкости. К таким веществам относятся портландцемент и молотый гранулированный доменный шлак. Применение портландцемента в качестве добавки к гипсу часто приводило к противоречивым результатам. В ряде случаев было отмечено повышение водостойкости и увеличение прочности в начальные сроки твердения, в то же время в отдельных случаях при повышении водостойкости наблюдалось разрушение образцов через 30-40 суток, обладавших в начале достаточной механической прочностью [4].

С целью изучения прочностных характеристик ранее разработанных нами составов ГKB повышенной водостойкости [5, 6], в течение длительного периода твердения были отформованы серии образцов, которые хранились при нормальной температуре во влажных условиях.

Для изготовления образцов использовались: гипс марки Г 5 производства ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», портландцемент марки ПЦ400 производства «Южно-Уральская Горно-перерабатывающая Компания» и шлак доменный гранулированный (граншлак) ООО «Урал-Ресурс».

Визуальное наблюдение проводилось в течение 1,5 лет, которое показало устойчивость структуры композитов и отсутствие внешних признаков разрушения (рисунок 1). После твердения образцов КГВ в течение 1,5 лет они были испытаны на прочность при изгибе и сжатии на приборе МИИ-100 и гидравлическом прессе. Полученные результаты представлены в таблице 1.



Рисунок 1. – Образцы-балочки, выдержанные в течение 1,5 лет

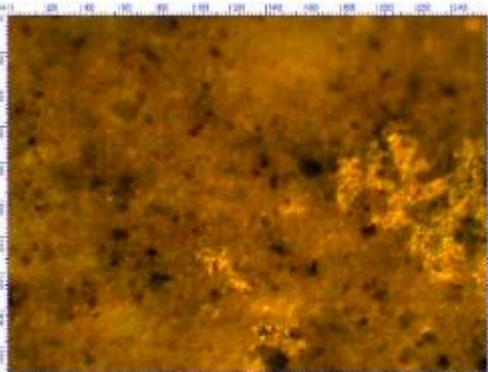
Таблица 1. – Матрица планирования и основные характеристики КГВ

№ состава	Содержание, %		Предел прочности через 7 сут., МПа		Коэф-т раз- мягчения	Предел прочности через 1,5 года, МПа	
	портландцемент	граншлак	при изгибе	при сжатии		при изгибе	при сжатии
1	10	40	8,8	20,9	0,64	22,85	9,1
2	10	10	8,7	21,4	0,47	21,98	8,9
3	37,57	10	9,0	20,5	0,65	22,74	9,3
4	37,57	40	6,4	21,4	0,70	27,72	7,6
5	40	25	7,6	17,8	0,71	24,86	8,2
6	19,5	25	10,7	23,1	0,51	23,84	10,8

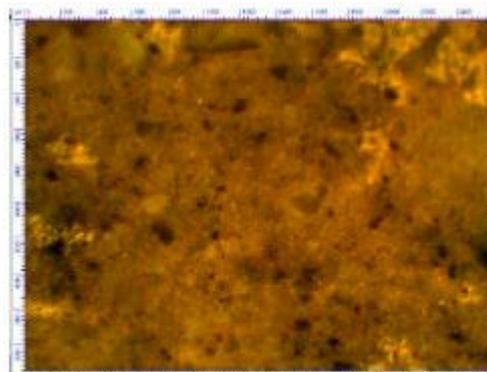
Как видно из таблицы, при длительном хранении во влажных условиях снижение прочности образцов КГВ не наблюдается. В среднем увеличение прочности на сжатие и изгиб составляет 6%-13%.

Исследование структуры образцов, твердевших в течение 7 суток, и образцов длительного твердения проводили с помощью оптического микроскопа фирмы Nikon типа ECLIPSE E200 (рисунок 2).

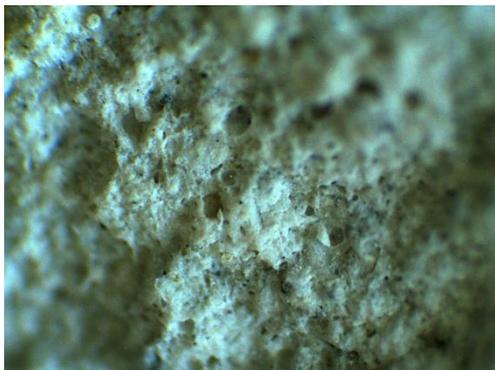
а)



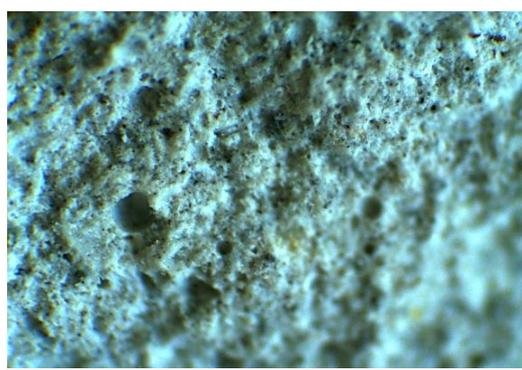
б)



в)



г)



а), б) – через 7 суток твердения; в), г) – через 1,5 лет твердения

Рисунок 2 – Структура поверхности скола образцов КГВ при увеличении 40х

Оптические снимки показали, что образцы КГВ длительного твердения отличаются более монолитным строением и отсутствием неровностей на сколе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гипсовый бюллетень. Обзор рынка гипса в августе 2019 года [Электронный ресурс] // CM PRO. – Режим доступа: [https://cmpro.ru/rus/catalog/gips/analitika/gipsovii\\_byulleten\\_obzor\\_rinka\\_gipsa\\_v\\_avguste\\_2019\\_goda.html](https://cmpro.ru/rus/catalog/gips/analitika/gipsovii_byulleten_obzor_rinka_gipsa_v_avguste_2019_goda.html), свободный (дата обращения: 21.03.2021).
2. Дребезгова М.Ю. Композиционные гипсовые вяжущие и материалы на их основе: дис. канд. техн. наук: 05.17.11; защищена 23.05.2018 / Дребезгова Мария Юрьевна. – Белгород, 2018. – 170 с.
3. Лагизова, Т. В. Модифицированное вяжущее на основе гипса [Электронный ресурс] / Т. В. Лагизова, В. Н. Рубцова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 25-27 янв. 2021 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, 2021. - . - С. 299-304. - 5 с.
4. Аласханов, А.Х. Рецептура водостойких композиционных гипсовых вяжущих с компонентами техногенного происхождения / А.Х. Аласханов, С.А. Алиев, С.А.Ю. Муртазаев, А.С. Успанова // Вестник ДГТУ. Технические науки. - 2015. - Т. 39. - № 4. – с. 63-76.
5. Рубцова, В. Н. Композиционное гипсовое вяжущее [Электронный ресурс] / В.Н. Рубцова, А.А. Хасанова // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электрон. сб. ст. II Междунар. науч. конф., 28-29 нояб. 2019 г., Новополюцк / Полоцкий гос. ун-т ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополюцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. - . - С. 392-396. - 5 с.
6. Рубцова В. Н. Исследование гипсового вяжущего повышенной водостойкости [Электронный ресурс] / В. Н. Рубцова, А. А. Хасанова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 23-25 янв. 2020 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, 2020. - с. 355-360.

УДК 691.5

## ВЛИЯНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА И ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

**Е.Н. Полонина**

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: grushevskay\_en@tut.by

*В статье представлены результаты исследований комплексной добавки, содержащей в своем составе пластифицирующую добавку на основе наноструктурированного углерода и водный золь нанокремнезема, на свойства цементных образцов. С использованием стандартизованных методик испытаний экспериментально подтверждена эффективность комплексной добавки, выразившаяся в росте: прочности на сжатие от 25 до 50%, прочности при изгибе до 55%.*

**Ключевые слова:** водный золь нанокремнезема, углеродные нанотрубки, суперпластификатор, цемент, прочность.

## INTEGRATED NANODISPERSION SYSTEM FOR MODIFICATION OF HEAVY CONCRETE

**E. Polonina**

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

e-mail: grushevskay\_en@tut.by

*The article presents the results of studies of a complex additive containing in its composition a plasticizing additive based on nanostructured carbon and an aqueous sol of nanosilica, on the properties of cement samples. Using standardized test methods, the effectiveness of a complex additive has been experimentally confirmed, expressed in growth: compressive strength from 25 to 50%, bending strength up to 55%.*

**Keywords:** aqueous sol of nanosilica, carbon nanotubes, superplasticizer, cement, strength.

В настоящее время в области строительного материаловедения развивается новое направление – наномодифицирование (наноинжиниринг) бетонов [1-5]. Среди наночастиц разного химического состава  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{CaCO}_3$  и др. с учетом эффективности, себестоимости синтеза, возможности стабилизированного однородного ввода в бетонную смесь и наличия действующих крупных производств наночастицы  $\text{SiO}_2$  и наноуглерода стали наиболее применяемыми. Результатам повышения механических, физических и структурных характеристик портландцементного бетона и цементного камня посвящено большинство публикаций по строительным материалам [6-19]. Отсутствие комбинации применения наночастиц гидротермального золя кремнезема  $\text{SiO}_2$  и углеродных нанотрубок (МУНТ), а также применение их в диапазоне малых доз порядка  $10^{-5} - 10^{-3}$  масс. % по цементу стала актуальной задачей, которую решал автор.

Для оценки достоверности рабочей гипотезы, которая состоит в том, что введение в цементный бетон наномодификаторов, характеризующегося своеобразием структурного строения, высокой дисперсностью и связанным с ней значительным энергетическим потенциалом, будет способствовать повышению темпа роста и уровня его прочности и плотности, а на этой основе – всей совокупности физико-технических свойств, были проведены исследования на цементе и цементном камне.

Испытания были проведены на добавках состава, которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Состав сырьевой смеси

Номер состава образца	Состав сырьевой смеси, мас. %		Количество вводимой добавки от массы цемента, %	В/Ц	Состав добавки		
	Цемент	Добавка			Массовая доля СП к цементу, %	Массовая доля тв. наноглерода к цементу, %	Массовая доля тв. SiO <sub>2</sub> к цементу, %
29	99,2	0,8	-	0,26	-	-	-
30			0,8	0,21	0,4	-	-
31			0,8	0,21	0,4	-	0,000 006
32			0,8	0,21	0,4	0,000 4	-
33			0,8	0,21	0,4	0,000 4	0,000 006

Добавки, в количестве 0,8% от массы цемента, предварительно смешивали с водой затворения и вводили в цемент, интенсивно перемешивая в течении 5 мин. Количество воды затворения подбирали таким образом, чтобы во всех случаях получить тесто нормальной густоты. Из цементного теста нормальной густоты (Кнг=0,26 для состава №29 и Кнг=0,21 для составов №30-33) изготавливали образцы – балочки размерами 40x40x160 мм, которые формовали вручную и уплотняли на вибрационном столе.

В исследованиях использованы:

- в качестве вяжущего - портландцемент ПЦ 500 Д0 по ГОСТ 10178-85 ОАО «Белорусского цементного завода» со следующим минеральным составом, % массы: C<sub>3</sub>S–58.31, C<sub>2</sub>S – 18.38, C<sub>3</sub>A–8.01, C<sub>4</sub>AF – 10.64;

- пластифицирующая добавка на основе наноструктурированного углерода с массовой долей сухого остатка не менее 37%, плотностью 1,0-1,2 г/см<sup>3</sup>, с водородным показателем pH 15% водного раствора при 20°C- 6,9-7,1 и содержанием хлор-ионов не более 0.05%;

- гидротермальный нанокремнезем со следующими характеристиками: содержание SiO<sub>2</sub> в золе -120 г/дм<sup>3</sup>, плотность ρ=1075 г/дм<sup>3</sup>, общее солесодержание– 1050 мг/дм<sup>3</sup>, pH=9,2, удельная площадь поверхности 500 м<sup>2</sup>/г и средний диаметр первичных наночастиц SiO<sub>2</sub> 5,5 нм;

- вода для затворения соответствовала требованиям СТБ 1114-98 и ГОСТ 23732-2011.

Методики экспериментальных исследований соответствовали положениям ГОСТ 310.1-5-76(88). Определение нормальной густоты цементного теста, сроков схватывания и равномерность изменения объема цемента осуществлялось в соответствии с ГОСТ 310.3-76.

Нормальную густоту цементного теста характеризуют количеством воды затворения, выраженным в процентах от массы цемента. Экспериментальные данные коэффициента нормальной густоты (Кнг) представлены в таблице 2:

Таблица 2. – Коэффициента нормальной густоты

Номер образца	Наименование образца	Кнг, %	Количество вводимой добавки относительно массы цемента, %
29	СМ	0,26	-
30	СМ- SP50	0,21	0,8
31	СМ- NS8 SP50	0,21	0,8
32	СМ- NC50 SP50	0,21	0,8
33	СМ- NC50 NS8 SP50	0,21	0,8

Из полученных данных следует, что введение в цемент добавок, содержащей в своем составе суперпластификатор на поликарбоксилатной основе и наноматериал, не изменяет величин коэффициента нормальной густоты вяжущего содержащего только суперпластификатор.

Сроки схватывания цементного теста определяли с помощью прибора Вика на тесте нормальной густоты. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Изменение сроков схватывания

Номер образца	Наименование образца	Сроки схватывания, мин (час)	
		начало	конец
29	CM	150	355
30	CM- SP50	Более 5 часов	-
31	CM- NS8 SP50	400	Более 5 часов
32	CM- NC50 SP50	300	Более 5 часов
33	CM- NC50 NS8 SP50	340	Более 5 часов

При испытании на равномерность изменения объема, цемент, содержащий исследуемые добавки в количестве 0,8% от массы цемента, во всех случаях показал полное постоянство объема.

Проведение механических испытаний образцов на сжатие и изгиб производилось с помощью испытательной машины Testing 2.1005 (фирма "TESTING Bluhm& Feuerherdt GmbH", Германия).

Исследования выполнены на цементных образцах составов №29-33, твердеющих в нормальных условиях, после достижения ими 28 суточного возраста. Результаты исследований цементного камня приведены на рисунках 3.2 и 3.3.

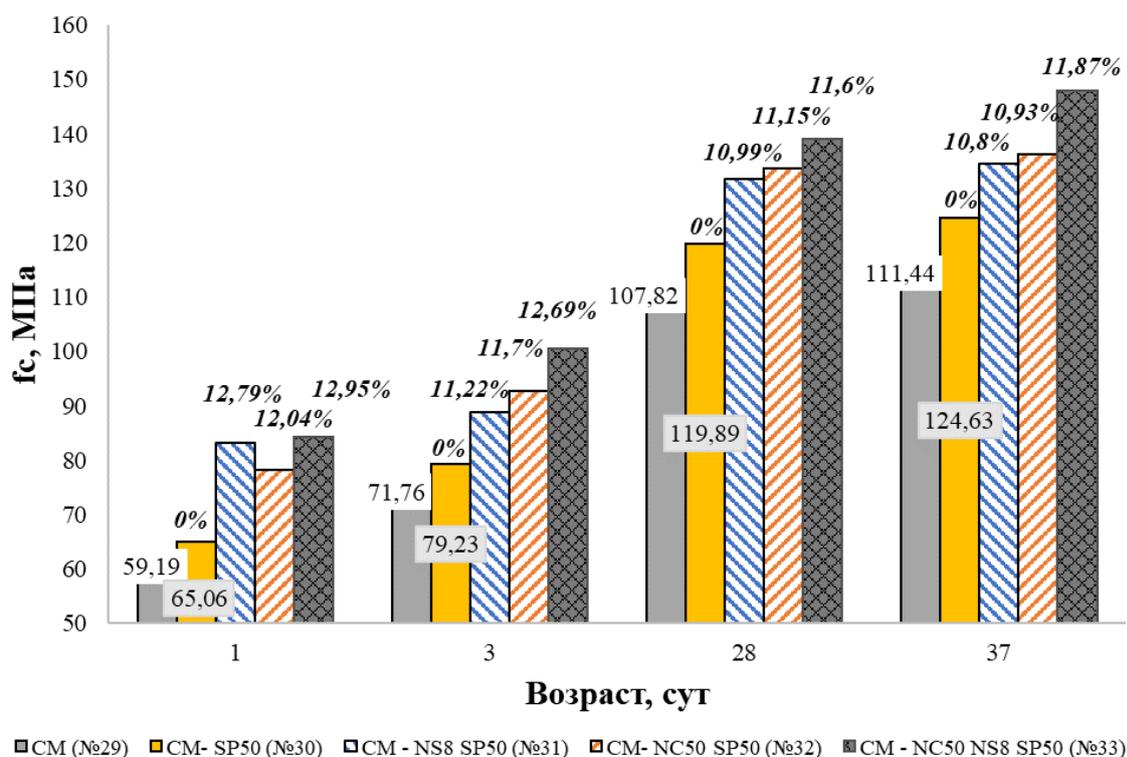


Рисунок 1. – Прочность на сжатие в зависимости от возраста цементных образцов (на графике указан % увеличения прочности модифицированных образцов нанодобавками, относительно образца, содержащего только суперпластификатор)

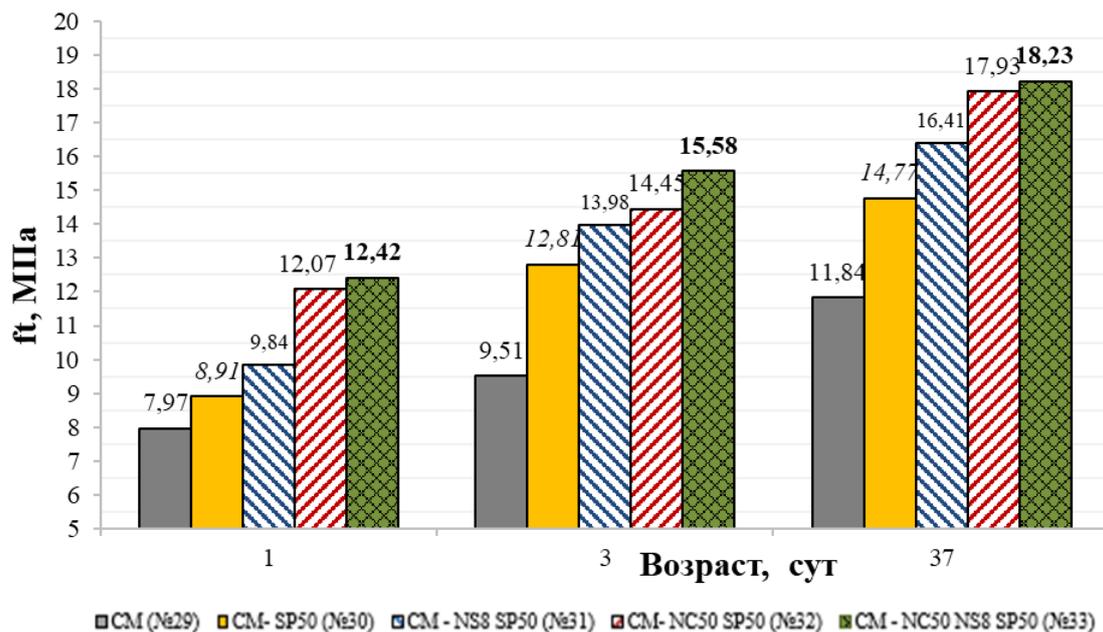


Рисунок 2. – Прочность при изгибе в зависимости от возраста цементных образцов

**Выводы.** Установлено увеличение прочности при сжатии между контрольным образцом ЦК и модифицированными образцами: SiO<sub>2</sub>, МУНТ, (SiO<sub>2</sub> + МУНТ). Прирост прочности достигал в раннем возрасте 1, 3сут - 13 и 12,7 %, в возрасте 37сут - 11,9 %, и был максимален в случае применения комбинации наночастиц (SiO<sub>2</sub> + МУНТ). Положительная разница прочности при изгибе относительно контроля была максимальной для образца с комплексной добавкой (SiO<sub>2</sub> + МУНТ+СП) и достигала в возрасте 1, 3сут -39,6 и 21,6 %, в возрасте 37 сут -23,4 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sobolev, K. Engineering of SiO<sub>2</sub> Nanoparticles for Optimal Performance in Nano Cement-Based Materials/ K. Sobolev [et al.] // Nanotechnology in Construction 3. – 2009. – pp. 139-148.
2. Sobolev, K. How Nanotechnology Can Change the Concrete World / K. Sobolev, M. Ferrada Gutierrez // American Ceramic Society Bulletin, 2009. – pp. 113-116.
3. Sobolev, K. How Nanotechnology Can Change the Concrete World / K. Sobolev, M. Ferrada Gutierrez // American Ceramic Society Bulletin, 2009. – pp. 117-120.
4. Sobolev, K., Torres-Martinez L.M. Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites/ K. Sobolev, I. Flores, R. Hermosillo, L. M. Torres-Martínez // Proceedings of ASI Session on «Nanotechnology Concrete: Recent Developments and Future Perspectives», 2006. – pp. 117-120.
5. Sanchez, F. Nanotechnology in concrete – A review/ F. Sanchez, K. Sobolev// Construction and Building Materials. –2010. – Vol. 24, №5. – pp. 2060–2071.
6. Гуриненко, Н.С. Технология и свойство бетона с полифункциональной добавкой, содержащей ультрадисперсный микрокремнезем: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05 / Н.С. Гуриненко; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020. – 25с.
7. Witkowski H. Air purifying pavement: development of photocatalytic concrete blocks/ H. Witkowski [et al.] // Applied Sciences . –2019. –Vol. 9, № 9. – p. 1735.
8. Zhang, P. Influence of nano-SiO<sub>2</sub> on properties of fresh and hardened high performance concrete: A state-of-the-art review/ P. Zhang, J. Wan, K. Wang, Q.Li// Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 148, № 1. – pp. 648–658.

9. Zhang P. Durability of Steel Fiber-Reinforced Concrete Containing SiO<sub>2</sub> Nano-Particles / P. Zhang [et al.] // *Materials*. –2019. –Vol. 12, № 13. – pp.2184.
10. 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; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2017. – 28с.
11. Singh, L.P. Studies on early stage hydration of tricalcium silicate incorporating silica nanoparticles: part II / L.P. Singh [et al.] // *Construction and Building Materials* . –2016. –Vol. 2, № 1. – pp.943-949.
12. Kiran Kumar, N.L.N. Effects of nano silica on the strengths of geopolymer concrete cured at ambient temperature/N.L.N. Kiran Kumar, K.V.S. Gopala Krishna Sastry // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. –2017. –Vol. 8, № 8. – pp.437-444.
13. R.B. Ardalani, N. Jamshidi, H. Arabameri, A. Joshaghani, M. Mehrinejad, P. Sharafi. Enhancing the permeability and abrasion resistance of concrete using colloidal nano-SiO<sub>2</sub> oxide and spraying nanosilicon practices / R.B. Ardalani [et al.] // *Construction and Building Materials*. –2017. –Vol. 146. – pp.128-135. Khaloo, A. Influence of different types of nano-SiO<sub>2</sub> particles on properties of high-performance concrete/ A. Khaloo, M.H. Mobini, P. Hosseini. // *Construction and Building Materials*. –2016. –Vol. 113. – pp.188-201.
14. Potapov, V.V. Obtaining sols, gels and mesoporous nanopowders of hydrothermal nanosilica / V.V. Potapov, R. Fediuk, D.S. Gorev // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. –2020. –Vol. 94, № 3. – pp.681–694.
15. Flores-Vivian, I. The effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticles derived from hydrothermal solutions on the performance of portland cement based materials/ I. Flores-Vivian [et al.] // *Frontiers of Structural and Civil Engineering* . –2017. –Vol. 11. – pp. 436–445.
16. Shah, et al. Highly-dispersed carbon nanotube-reinforced cement-based materials United States Patent 9,365,456. June 14, 2016.
17. Shah, et al. Highly dispersed carbon nanotube-reinforced cement-based materials. United States Patent 9,499,439. November 22, 2016.
18. Fulton, et al. Methods and systems for making nanocarbon particle admixtures and concrete. United States Patent 10,584,072. March 10, 2020.

УДК 625.861

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛАКОВОГО ЩЕБНЯ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

**О.В. Серикова<sup>1</sup>, С.А. Дергунов, С.В. Сериков**

Оренбургский Государственный Университет, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup> olya-bolshakova-00@mail.ru

Автомобильные дороги представляют собой комплекс инженерных сооружений, предназначенных для обеспечения круглогодичного, непрерывного, удобного и безопасного движения автомобилей с расчетной нагрузкой и установленными скоростями в любое время года и в любых условиях погоды. Автомобильные дороги являются важнейшим звеном транспортной системы страны, без которого не может функционировать ни одна отрасль народного хозяйства. Важным элементом любой автомобильной дороги является качественно обустроенная дорожная одежда, выполненная из грамотно подобранных правильно использованных материалов.

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, дорожная одежда, природный щебень, шлаковый щебень, асфальт.

## PROSPECTS FOR APPLICATION OF SLAG CRUSHED IN THE DEVICE OF ROAD CLOTHING

**O. Serikova, S. Dergunov, S. Serikov**

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: <sup>1</sup> olya-bolshakova-00@mail.ru

Highways are a complex of engineering structures designed to ensure year-round, uninterrupted, convenient and safe movement of vehicles with an estimated load and set speeds at any time of the year and in any weather conditions. Highways are the most important link in the country's transport system, without which no branch of the national economy can function. An important element of any road is well-equipped road clothes made of correctly selected and used materials.

**Keywords:** highways, road clothes, natural crushed stone, crushed slag, asphalt.

Автомобильные дороги представляют собой комплекс инженерных сооружений, предназначенных для обеспечения круглогодичного, непрерывного, удобного и безопасного движения автомобилей с расчетной нагрузкой и установленными скоростями в любое время года и в любых условиях погоды.

Автомобильные дороги являются важнейшим звеном транспортной системы страны, без которого не может функционировать ни одна отрасль народного хозяйства. Как известно, одной из вечных проблем России являются дороги. Недостаток и низкое качество дорог существенно сдерживает не только развитие автомобильного транспорта, но и социально-экономический прогресс в стране. Общая длина автомобильных дорог в России составляет 945 тыс.км, из них с твердым покрытием 750 тыс.км. Дороги общего пользования составляют всего лишь 580 тыс.км., из них твердое покрытие имеют 525 тыс.км. (90%). Протяженность федеральных дорог составляет 46,4 тыс.км. (менее 10% от сети общего пользования).

Основными показателями автодорог являются:

- расчетная скорость – наибольшая безопасная скорость, т.е. при безаварийном движении. Устанавливается в зависимости от категории дороги и рельефа местности;
- расчетная нагрузка – нагрузка на ось, устанавливается для определения прочности дорожных одежд, инженерных сооружений;
- пропускная способность – наибольшее число автомобилей, которые могут пройти по дороге с определенной скоростью. При этом должно соблюдаться безопасное расстояние между автомобилями.

Важным элементом любой автомобильной дороги является качественно обустроенная дорожная одежда.

Именно от правильности обустройства и состояния этого сооружения зависят транспортно-эксплуатационные параметры дороги (допустимая нагрузка и скорость движения, безопасность использования и прочее), а также срок ее службы.

Конструкционные особенности дорожной одежды, регламентируются нормами СНиП, а их характеристики, количество слоев, используемые материалы и прочие аспекты варьируются в соответствии с типом дорожно-климатической зоны, в которой выполняется возведение конструкции.

Дорожная одежда обеспечивает условия для движения автомобилей вне зависимости от рельефа и состояния грунта, и равномерно распределяет вес автомобилей, горизонтальные и вертикальные нагрузки по большой площади грунта.

Любая дорожная одежда имеет сложное устройство и включает в себя следующие слои, выполненные из материалов различной прочности:

- дренаж — самый нижний слой конструкции, укладываемый на подготовленное грунтовое основание.
- основание, возводимое посредством закладки щебня с различной фракцией.
- ж/б покрытие, включающее связанную арматуру и бетон.
- асфальтобетонное покрытие, отвечающее за прочность конструкции.
- слои износа, выполняющие защитные функции.
- бетонные, асфальтовые или щебневые обочины.

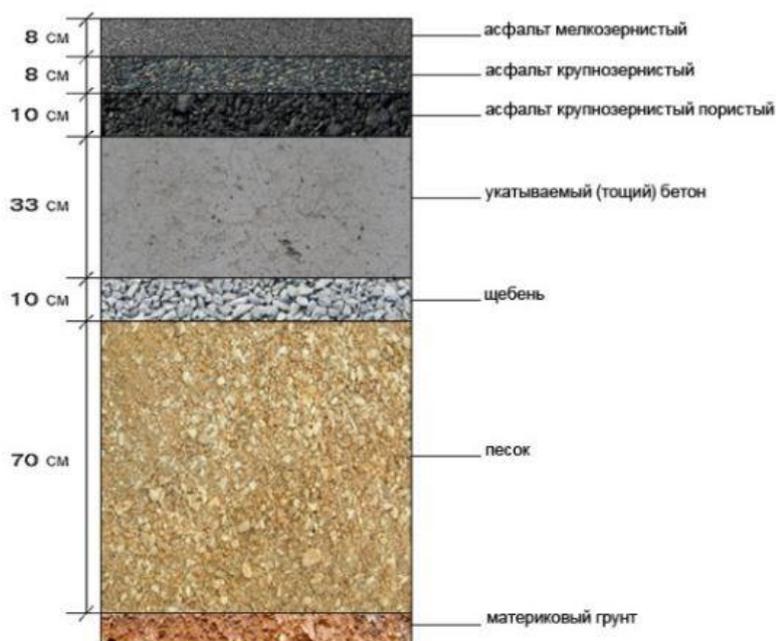


Рисунок 1. – Слои дорожной одежды

#### 1) Подготовленное грунтовое основание

Чтобы обеспечить правильную позицию дорожного полотна, при которой оно не будет возвышаться над окружающим его грунтом, требуется выполнить ряд подготовительных работ. Для этого на месте прокладки дороги вырывают траншею, имеющую оптимальную вместительность для размещения всех слоев дорожной одежды. После прокладки траншеи грунт уплотняют с использованием специальной техники и оборудования.

#### 2) Дренирующий слой

Этот слой является самым нижним и выполняет важные функции, обеспечивая впитывание и отвод дождевых вод. Для обустройства дренажа используют песок или щебень с размером фракции 70-100 мм

#### 3) Слой щебня средних фракций

Применение щебня, имеющего среднюю фракцию (порядка 40-60 мм), позволяет выполнить расклинцовку, при которой более мелкий по фракции материал заполняет все пустоты между крупным щебнем, использованным при обустройстве дренажного слоя.

#### 4) Верхний слой основания (щебень мелких фракций)

При обустройстве этой части конструкции применяют мелкофракционный щебень с калибром от 15 до 30 мм. Такая фракция материала обеспечивает должный уровень поддержки для асфальтобетонного покрытия.

#### 5) Железобетонные слои

Дороги с повышенной транспортной проходимостью обязательно усиливаются при помощи железобетонного слоя, который прокладывается поверх основания и способствует увеличению прочности и жесткости всей конструкции. При обустройстве такого слоя поверх мелкофракционного слоя щебня укладывают арматуру (стекловолоконную или стальную), которую перевязывают и заливают бетоном. После заливки выполняется уплотнение с использованием легких катков. Если железобетонное покрытие устраивалось из так называемого тощего бетона, имеющего пониженное содержание вяжущего компонента, то такой слой дополнительно выполняет теплоизоляционные функции.

#### 6) Асфальтобетонные слои

Покрытие из асфальтобетона включает несколько слоев, что обеспечивает должную прочность всей конструкции. Каждый из слоев устраивается из разогретых асфальтобетонных смесей, которые после укладки подлежат уплотнению.

7) Нижний слой покрытия устраивают с применением щебня, фракция которого варьируется от 25 до 40 мм. Поверхность основания, на которое выполняется укладка асфальтобетонной смеси, пропитывается праймером или битумным составом с целью повышения адгезии.

Все накладываемые поверх слои устраиваются с применением щебня меньшего калибра. Самый верхний слой прокладывается в сочетании с материалом, имеющим фракцию от 5 до 10 мм.

#### 8) Слои износа, сцепления, гидроизоляции

Последний элемент покрытия, называемый слоем износа, выполняется из тонкого слоя асфальтобетона. Чаще всего для его обустройства применяют литые асфальтобетоны, а покрытие, сделанное по такой технологии, имеет хорошую стойкость к воде и высокую прочность, что обеспечивает необходимый уровень защиты для нижних элементов дорожных одежд.

#### 9) Обочины

При прокладке дороги в условиях мягких почв, склонных к размыванию, верхний слой дорожной одежды нужно дополнительно усилить, сделав обочину из подходящего материала (асфальт, бетон, щебенчатая насыпь). Такие меры позволят защитить дорожное покрытие от попадания грязи и влаги в большом количестве, что способствует большей безопасности движения.

При выполнении работ по отсыпке дорожного полотна возможно использование различных видов и фракций щебня - природный и шлаковый. Шлаковый щебень создается на основе отходов промышленных или сталелитейных производств. Шлаки образуются при плавке сырья, обработке промежуточных продуктов или в процессе рафинирования жидких сплавов. Отходы содержат значительное количество оксидов кальция, магния, железа, цинка или алюминия. Процесс получения породного щебня предполагает подрыв монолитных скал с последующим дроблением получившихся осколков или разработку карьеров открытым способом.

Природный и шлаковый щебень могут значительно отличаться друг от друга физическими свойствами. Причиной этого становятся разные характеристики исходных материалов.

Для сравнения физико-химических характеристик горного и шлакового щебня, а также проверки их показателей на соответствие из ГОСТ 32826-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые», ГОСТ 32703-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород» были проведены лабораторные испытания трех фракций шлакового щебня и двух фракции щебня из изверженных горных пород.

В ходе испытаний были определены основные характеристики: насыпная плотность, определение содержания пылевидных и глинистых частиц, определение дробимости щебня, определение содержания глины в комках, таблицы 1, 2.

Таблица 1. – Результаты испытаний шлакового щебня

Наименование показателя	Требование ГОСТ 32826-2014	Показатели с паспорта			Фактические значения		
		4-8мм	8-16мм	16-22,4мм	4-8мм	8-16мм	16-22,4мм
Определение насыпной плотности, кг/м <sup>3</sup>	-	1,66	1,73	1,76	1,86	1,87	1,88
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	До 1	0,7%	0,5%	0,5%	0,8%	0,6%	0,5%
Определение дробимости щебня	600-1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
Содержание глины в комках	До 0,25	0	0	0	0	0	0

Таблица 2. – Результаты испытания щебня из изверженных пород

Наименование показателя	Требование ГОСТ 32703-2014	Показатели с паспорта		Фактические значения	
		5-10мм	10-20мм	5-10мм	10-20мм
Определение насыпной плотности, кг/м <sup>3</sup>	-	1,32	1,34	1,33	1,35
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Не более 1%	0,68	0,71	0,75	0,81
Определение дробимости щебня	600 и выше	1400	1400	1400	1400
Содержание глины в комках, в % по массе	До 0,25	-	-	0	0

Средства измерения и испытательное оборудование: пресс гидравлический П-10, пресс гидравлический П-125, весы электронные EV-12ki, шкаф сушильный ШСП-0,25-100, мерная металлическая посуда, комплект сит контрольных, цилиндр с плунжером ЦП-150.

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что шлаковый и горный щебень соответствуют основным показателям ГОСТ.

Однако, на основании результатов вышеуказанных таблиц 1, 2 можно увидеть различия в показателях насыпной плотности, что говорит о больших затратах, которые будут понесены на доставку материала к месту строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 32826-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Технические требования»// разработан: Обществом с ограниченной ответственностью «Центр метрологии, испытаний и стандартизации», Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». Введен - Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 февраля 2015 г. No 48-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 32826—2014 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2015 г.// Дорожное хозяйство. – 2014. – с. 16.
2. ГОСТ 32703-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования»// разработан: Обществом с ограниченной ответственностью «Инновационный Технический Центр», Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». Введен: Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 ноября 2014 г. N2 1486-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 32703-2014 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июня 2015 г.// Дорожное хозяйство. – 2014. – с. 19.
3. Ватин, Н. И. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н.И. Ватин, Д.В. Петросов [и др.] // Инженерно-строительный журнал. № 4. -2011. с. 16-21;
4. Немчинов М.В. «Дорожная одежда автомобильных дорог. Расчёт и проектирование» // Издательство - Ассоциация строительных вузов – 2016, 108 с.
5. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. – 80 с.
6. Хлопицкий А.А., Макаренко Н.П. «Перспективы утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций» / Технические науки: Электронный журнал № 1, 2013 г.
7. М.В. Исаенко, Е.В. Андреева «Технология и организация работ по возведению земляного полотна автомобильных дорог»: [Электронный ресурс] – учебное пособие, Омск, СибАДИ, 2016 г. - 186 с.

УДК 628.52

## РАЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА УТИЛИЗАЦИИ СЕРНОГО АНГИДРИДА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭС

**В.И. Турчанинов<sup>1</sup>, В.В. Кабанова<sup>2</sup>, Д.С. Махина<sup>3</sup>**

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup> [tutuche@mail.ru](mailto:tutuche@mail.ru), <sup>2</sup> lera.kabanova.1997@mail.ru, <sup>3</sup> dasha15\_96@mail.ru

*Рассмотрены планетарные проблемы загрязнения атмосферы земли оксидами серы, образующимися при сжигании топлива, содержащего серу, а также при переработке сульфидного сырья. Проанализированы технологии улавливания оксидов серы с последующим производством из продуктов очистки гипсовых вяжущих. Приведены результаты эксперимента, подтверждающие необходимость предварительной очистки дымовых газов от пыли с целью получения качественных гипсовых вяжущих. Проведены расчеты, показывающие целесообразность строительства предприятий по производству гипсовых вяжущих из продуктов очистки дымовых газов.*

**Ключевые слова:** оксиды серы, серосодержащее топливо и сырье, десульфурация, гипсовые вяжущие.

## RATIONAL UTILIZATION SCHEME OF SULFUR ANHYDRIDE OF TPP FLUE GASES

**V. Turchaninov<sup>1</sup>, V. Kabanova<sup>2</sup>, D. Mahina<sup>3</sup>**

Orenburg State University, Russian Federation

<sup>1</sup> [tutuche@mail.ru](mailto:tutuche@mail.ru), <sup>2</sup> lera.kabanova.1997@mail.ru, <sup>3</sup> dasha15\_96@mail.ru

*Work considers the planetary problems of the earth's atmosphere pollution with sulfur oxides, which are formed during the combustion of fuel containing sulfur, as well as during the processing of sulfide raw materials. Sulfur oxides capture technologies with the subsequent production from the products of cleaning gypsum binders are analyzed. Results of the experiment confirming the need for preliminary cleaning of flue gases from dust in order to obtain high-quality gypsum binders are presented. Calculations showing the feasibility of building enterprises for the production of gypsum binders from flue gas purification products are carried out.*

**Keywords:** sulfur oxides, sulfur-containing fuel and raw materials, desulfurization, gypsum binders.

В настоящее время глобальный характер приобретает проблема загрязнения атмосферного воздуха за счёт выбросов серного ангидрида. При сжигании серосодержащего топлива образуется два оксида серы: сернистый ангидрид ( $SO_2$ ) и серный ангидрид ( $SO_3$ ).

По данным Greenpeace за 2018 г первое место в рейтинге стран по выбросам в атмосферу диоксида серы занимает Индия с объемом 4586 тыс. т в год, на втором месте Россия (3683 тыс. т), на третьей строчке Китай (2578 тыс.т). Далее следуют Мексика, Иран и Саудовская Аравия и ЮАР, также превысившие отметку в 1000 тыс. т. Всего выброс серного ангидрида этими странами составляет – 16,5 млн. тонн в год [1].

Общепланетарное техногенное поступление диоксида серы в атмосферу, по разным источникам, составляет в среднем от 140 до 290 млн. т в год.

Диоксид серы и образующиеся при его взаимодействии с водяными парами атмосферы сернистая  $H_2SO_3$  и серная  $H_2SO_4$  кислоты негативно влияют на биотические составляющие

планеты (растения, животных, людей). Наблюдается гибель деревьев, особенно хвойных, снижается урожайность сельскохозяйственных культур, закисление почв, интоксикация животных. Люди страдают респираторными заболеваниями, поражаются легкие [2].

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) серного ангидрида в атмосферном воздухе: максимально-разовая — 0,5 мг/м<sup>3</sup>, среднесуточная — 0,05 мг/м<sup>3</sup>; в помещении (рабочая зона) — 10 мг/м<sup>3</sup> [3].

Следует отметить, что негативное воздействие серного ангидрида наблюдается не только вблизи источника его образования, но и на значительном расстоянии от него, т.к. распространение дымовых газов наблюдается на 300-400 км, а в ряде случаев, при установке высоких дымовых труб, и до 1-2 тыс. км. Поэтому даже благополучные в экологическом отношении Швейцария, Люксембург, Нидерланды страдают от выбросов газов промышленных предприятий Рурского бассейна Германии и Великобритании.

Техногенными источниками поступления оксидов серы в атмосферы являются: топливная энергетика – 55%; металлургия – 25%; очистка и переработка угля и нефти – 10 %; химическая промышленность, транспорт и прочие виды хозяйственной деятельности человека – 10%. Таким образом первоочередное внимание должно быть уделено очистке дымовых газов тепловых электростанций (ТЭС).

Как нами ранее отмечалось [4], наиболее целесообразным методом снижения концентрации SO<sub>2</sub> является десульфурация или процесс обессеривания дымовых газов. Продукт, полученный после промышленной переработки, представляет собой двуводный сульфат кальция  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  имеет те же характеристики, что и природный гипс, и является высококачественным и экологически чистым продуктом.

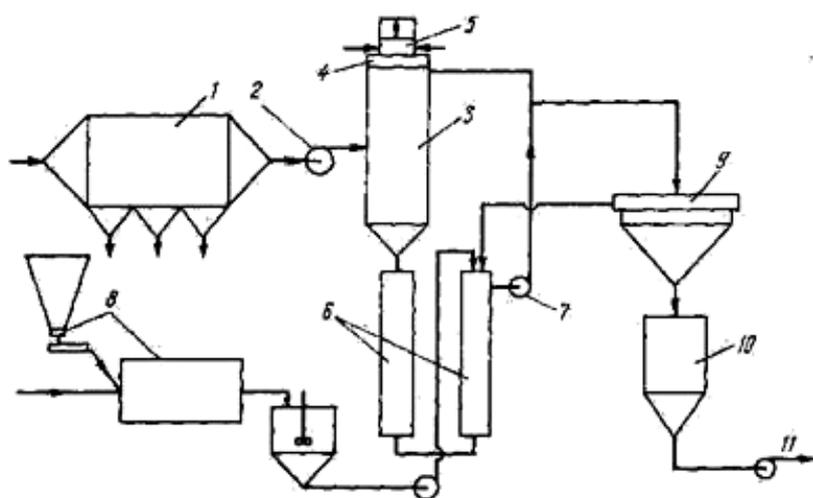
Десульфурация может осуществляться мокрым, полусухим и сухим методами. Наибольшее распространение получила мокрая технология вследствие её наибольшей эффективности и простоты.

В мокрых технологиях очистка дымовых газов от оксидов серы осуществляется путем промывки отходящих газов водной суспензией извести либо известняка. При этом улавливаемый диоксид серы растворяется в воде, что способствует максимальному ускорению его связывания с реагентом. При этом образуются сульфит и сульфат кальция; в последующем за счёт дополнительной подачи воздуха сульфит окисляется до двуводного сульфата (гипса).

Нам представляется более целесообразным для улавливания оксидов серы использовать суспензию извести, нежели известняка. При гашении извести образуются частицы гидроксида кальция  $Ca(OH)_2$  размером частиц около 1 мкм, в то время как при приготовлении известняковой суспензии способом мокрого помола, даже при полном прохождении её через сито №008, средний размер частиц известняка будет составлять от 20 до 30 мкм. К тому же при гашении извести примесные компоненты не прогашиваются и в виде крупных включений могут быть отделены от суспензии гидроксида кальция. А вот при помоле известняка все примесные компоненты входят в состав суспензии, тем самым снижая её активность и приводя к получению двуводного сульфата со значительным количеством примесей. Поэтому и качество гипсового вяжущего получаемого из такого двуводного сульфата будет более низким при использовании известняковой суспензии.

Схема очистки дымовых газов от диоксида серы известковым способом приведена на рисунке 1.

Следует отметить, что на ТЭС главным образом применяют мокрую очистку дымовых газов, используя в качестве пылеосадительных аппаратов гидроциклоны либо скрубберы Вентури. Такая технология более проста и менее затратна, но она не позволяет достаточно полно извлекать оксиды серы из дымовых газов и улучшать экологическую обстановку региона и планеты в целом.



1 – золоуловитель; 2 – дымосос; 3 – скруббер; 4 – брызгоуловитель; 5 – подогреватель; 6 – емкости; 7 – циркуляционный насос; 8 – газовая установка; 9 – сгуститель; 10 – емкость для шлама; 11 – сброс шлама на переработку или на золоотвал

Рисунок 1. – Принципиальная схема очистки дымовых газов от диоксида серы известковым способом

Сухая пылеочистка посредством циклонов недостаточно эффективна вследствие низкой степени очистки такими аппаратами – 60–70 %. Если после циклонов газовый поток направлять на извлечение оксидов серы, то получаемый гипс будет характеризоваться значительным содержанием примесей золы и качество гипсовых вяжущих на его основе будет низким.

Нами был проведен эксперимент с целью установления влияния инертных примесей на свойства строительного гипса. С этой целью были изготовлены 3 серии образцов из строительный гипса с добавкой инертного наполнителя – грубомолотого кварцевого песка. Результаты эксперимента представлены в таблице 1. Определение прочностных показателей проводили на воздушно-сухих образцах.

Таблица 1. – Влияние добавки наполнителя на свойства гипса

№ составов	Содержание наполнителя, в %	Нормальная густота, в %	Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
			при изгибе	при сжатии
1	0	67	53,8	168,5
2	10	63	51,3	137,8
3	20	56	46,9	113,7

С целью установления чистоты гипса образцы 1 состава после определения их прочностных характеристик были испытаны по ГОСТ 4013-82 [5]. Путем нагрева пробы массой 1 г в муфельной печи при температуре (400±15) °С в течение 1 ч было установлено, что содержание  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  в исходном гипсовом камне, из которого было изготовлено вяжущее, составляло 89,88 %. Результаты эксперимента, представленные в таблице 1, позволяют сделать вывод о необходимости высокой степени очистки дымовых газов перед направлением их на извлечение оксидов серы.

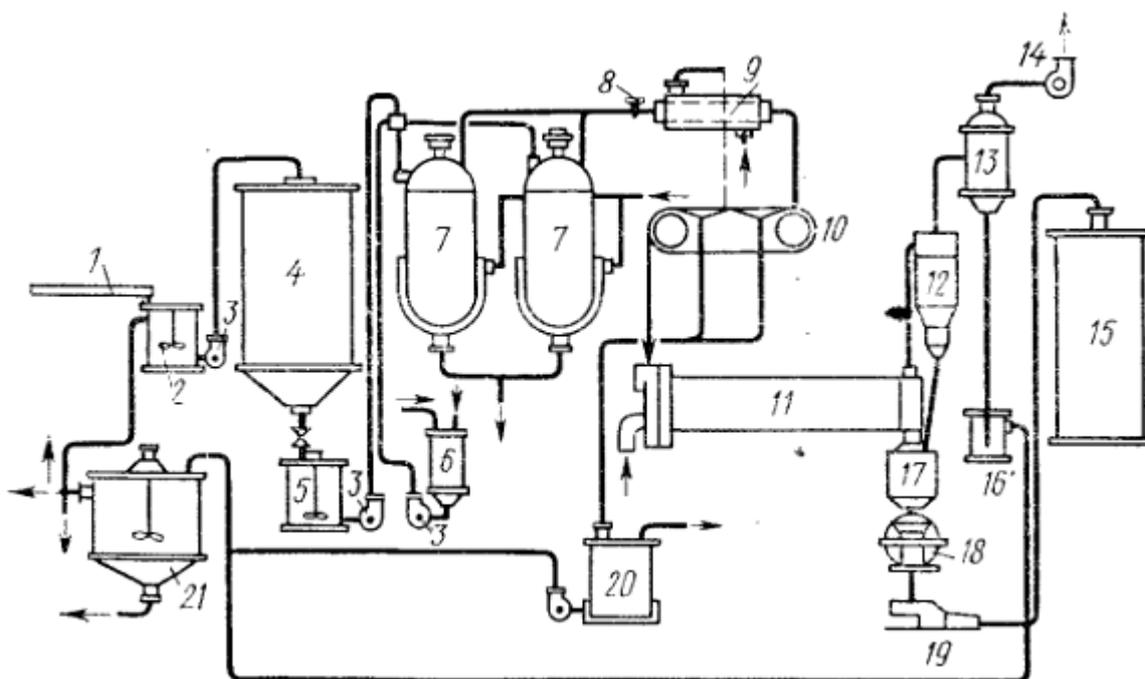
Этим требованиям отвечают электрофильтры, степень очистки в которых составляет 95-99 %. На рисунке 1, поз. 1, представлен электрофильтр. Кстати зола сухого отбора практически полностью используется при производстве цемента, бетона, в том числе ячеистого, в

то время как мокрого направляется в отвал и последующее её использование создаёт проблемы, особенно в зимнее время.

Двуводный гипс после установки десульфурации может использоваться в качестве добавки регулятора сроков схватывания при производстве портландцемента либо для получения гипсовых вяжущих.

Наиболее простой является технология производства строительного гипса путем обжига в варочных котлах. При этом гипсовая суспензия после сгущения направляется на вакуум-фильтр либо центрифугу, и далее после дробления и размола в мельницах с одновременной сушкой гипс направляется в варочный котел для обжига, в результате которого получают строительный гипс – β-полугидрат.

Большой интерес, на наш взгляд, представляет технология получения высокопрочного гипса – α-полугидрата. Производство его осуществляется либо по автоклавной технологии, либо варкой в жидких средах. Схема производства высокопрочного гипса по автоклавной технологии представлена на рисунке 2 [6].



- 1 - ленточный транспортер, 2 – репульпатор, 3 – центробежный насос, 4 – накопительная емкость, 5 – промежуточная емкость, 6 – специальная емкость, 7 – автоклав, 8 – трубопровод, 9 – теплообменник, 10 – вакуум-фильтр, 11 – сушильный барабан, 12 – циклон, 13 – скруббер, 14 – вентилятор, 15 – склад готовой продукции, 16 – промежуточная емкость, 17 – приемный бункер, 18 – мельница, 19 – пневмонасос, 20 – ресивер, 21 – отстойник-нейтрализатор

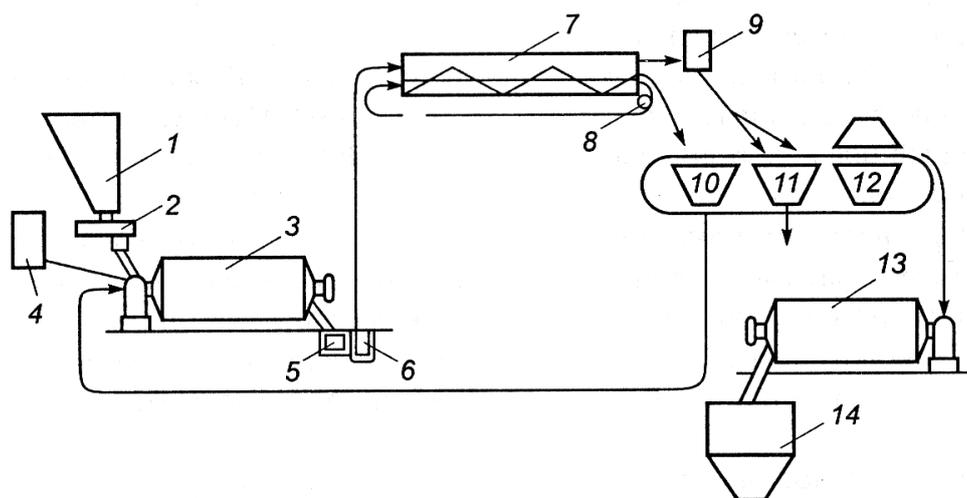
Рисунок 2. – Принципиальная технологическая схема переработки химического гипса в α-полугидрат сульфата кальция

Обработка дигидрата проводится в автоклаве непрерывного действия, в который гипс подается в виде шлама. Температура обработки составляет 150-175 °С, при давлении водяных паров 0,4-0,7 Мпа. При этом вода из дигидрата удаляется в капельно-жидком состоянии и формируются кристаллы α-полугидрата большего размера, нежели кристаллы β-полугидрат при варке в варочных котлах. Поэтому гипсовое вяжущее на основе α-полугидрата характеризуется меньшей водопотребностью и большей прочностью. Для регулирования процесса кри-

сталлизации  $\alpha$ -полугидрата в автоклав из емкости 6 подают «регулятор» кристаллизации полугидрата (РКП) в количестве 0,1% от массы исходного гипса. В качестве регулятора кристаллизации используют жидкое стекло или малеиновую кислоту, нейтрализованную поташом.

Затем суспензию обезвоживают в вакуум-филтре до влажности около 10%, подвергают сушке в сушильном барабане и направляют на помол. Размолотый гипс пневмотранспортом направляют на склад готовой продукции.

Схема производства высокопрочного гипса варкой в жидких средах представлена на рисунке 3 [7].



- 1 – бункер, 2 – тарельчатый питатель, 3 – шаровая мельница, 4 – емкость для рабочего раствора, 5 – емкость, 6 и 8 – насосы, 7 – кристаллизатор с мешалкой, 9 – конденсатор, 10 – установка для фильтрации, 11 – емкость для промывки, 12 – сушка, 13 – мельница, 14 – бункер высокопрочного гипса

Рисунок 3. – Технологическая схема производства высокопрочного гипса в жидких средах

На рисунке 3 представлена схема получения высокопрочного гипса из гипсового камня. В этом случае его необходимо предварительно подвергать помолу. Но если использовать гипс, полученный при очистке дымовых газов ТЭС от оксидов серы, то гипсовый шлам от установки десульфурации может из накопительной емкости сразу направляться на варку в корытообразный кристаллизатор непрерывного действия с мешалкой, оснащенный подогревом.

Варка гипса осуществляется в растворах солей, имеющих температуру кипения более 100 °С. Рекомендуемый интервал температур – от 105 °С до 130 °С. Обычно используют растворы хлористого кальция, хлористого магния и сернокислого магния. При концентрации хлористого магния  $MgCl_2$  50 г на 100 г воды температура кипения раствора составляет 120,4 °С, а при концентрации раствора хлористого кальция  $CaCl_2$  100 г на 100 г воды температура кипения раствора – 129,7 °С. Более доступным является хлористый кальций и при его концентрации 25 г на 100 г воды температура кипения раствора – 105 °С, которой вполне достаточно для разложения  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  до  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ .

Нами была осуществлена варка двуводного гипса, полученного измельчением образцов после определения прочностных характеристик строительного гипса. Варка осуществлялась в растворе  $CaCl_2$  при температуре 105 °С в течение двух часов. Полученный продукт был из-

мельчен до полного прохождения через сито № 02, а затем из него и контрольного исходного строительного гипса были изготовлены образцы-призмы размером 2x2x10 см.

Предел прочности, в кг/см<sup>2</sup>, при сжатии опытных образцов составил 117,5, а при изгибе - 49,5, в то время как для контрольных - 103 и 62,4 соответственно. Следует отметить, что полученный при варке в жидкой среде гипс характеризовался очень быстрым схватыванием, поэтому для получения достаточно подвижной массы количество воды затворения превысило нормальную плотность контрольного гипса: у опытного гипса В/Т=0,8, а у контрольного В/Т=0,67. Возможно это связано с недостаточно полной отмывкой продукта варки от  $CaCl_2$ , а возможно с очень тонким его измельчением. Но в любом случае в состав такого вяжущего при помоле следует вводить ПАВ, которые одновременно замедляют сроки схватывания гипса.

Реальность сооружения установки по производству гипсовых вяжущих по одной из рассмотренных технологий из гипсового шлама установки десульфурации дымовых газов ТЭС можно подтвердить на основе анализа работы ТЭС г. Красноярска.

На территории Красноярска находятся три ТЭС общей тепловой мощностью 3644 Гкал/ч. ТЭЦ-1 работает на буром угле Бородинского разреза, являющегося частью Канско-Ачинского угольного бассейна, расположенного на территории Красноярского края. Расход угля составляет 2560 тыс.т в год, при тепловой мощности станции 1677Гкал/ч. Химический состав угля, в %: S- 0,2; C- 43,7; H- 3; N- 0,6; O- 13,5; зольность - 6[8].

Общий расход угля по всем трем ТЭС с учетом их тепловой мощности составляет

$$\frac{3644}{1677} * 2560 = 5562,7 \text{ тыс. т.}$$

Содержание серы в угле  $0,002 * 5562,7 = 11125,4$  т.

Содержание серного ангидрида  $SO_3$  в угле с учетом атомных масс химических элементов  $2,5 * 11125,4 = 27813,5$  т.

Количество дигидрата  $CaSO_4 * 2H_2O$ , которое можно получить при десульфурации дымовых газов  $2,15 * 27813,5 = 59800$  т.

Таким образом, если организовать очистку дымовых газов Красноярских ТЭС от оксидов серы, то, наряду с улучшением экологической обстановки в этом крайне неблагоприятном с точки зрения экологии городе, здесь может быть организован выпуск гипсовых вяжущих на совместном для трех ТЭС производстве.

Подобные технологии очистки отходящих газов промышленных предприятий от оксидов серы с последующей переработкой гипсовых шламов в гипсовые вяжущие могут быть организованы повсеместно, где наблюдаются выбросы оксидов серы в атмосферу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Загрязнение биосферы диоксидами серы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.activestudy.info/>, - свободный. – Дата обращения: 15.03.2021.
3. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/556185926> - свободный. – Дата обращения: 15.03.2021.

4. Турчанинов, В.И. Использование химического гипса в производстве строительных материалов / В.И. Турчанинов, В.В. Кабанова, Т.В. Лагизова. [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).
5. ГОСТ 4013-82 Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2008.
6. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов : Учебник для вузов / Ю.М. Бутт, М.М. Сычёв, В.В. Тимашев. – М.: Высш. школа, 1980. – с.51-52.
7. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Издательство АСВ, 2004. - 488 с., с илл.
8. Родатис, К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К.Ф. Родатис, А.Н. Полторацкий – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с., с илл.

УДК 666.9

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**А. Хамидов<sup>1</sup>, А.А. Ёкубов<sup>2</sup>, И. Умаров<sup>3</sup>**

Наманганский инженерно-строительный институт, Узбекистан

e-mail: [architectmardon@gmail.com](mailto:architectmardon@gmail.com)

*В статье рассмотрены вопросы использования золо-шлаковых смесей при производстве строительных материалов, приведены результаты исследований по определению физико-механических характеристик растворов, приготовленных из различных составов.*

**Ключевые слова:** Бетон, вяжущее, цемент, золо-шлаковые смеси, пластифицирующие добавки, сульфитно-дрожжевая барда, супер-пластификаторы, наномодификаторы, наночастицы, прочность.

## THE USE OF ASH AND SLAG MIXTURES IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

**A. Khamidov, A. Yakubov, I. Umarov**

Namangan Institute of Civil Engineering, Uzbekistan

e-mail: [architectmardon@gmail.com](mailto:architectmardon@gmail.com)

*The article discusses the use of ash and slag mixtures in the production of building materials, presents the results of studies to determine the physical and mechanical characteristics of solutions prepared from various compositions.*

**Keywords:** Concrete, binder, cement, ash and slag mixtures, plasticizing additives, sulfite-yeast bard, super-plasticizers, nanomodifiers, nanoparticles, strength.

В настоящее время при работе тепловых электростанций образуются в большом объеме золо-шлаковые отходы (ЗШО), отрицательно воздействующие на окружающую среду, их накопление также приводит к загрязнению грунтовых вод и земельных ресурсов. Необходимо отметить, что ЗШО не вывозятся с территории ТЭС. Они, соединяясь с оборотными, водами, образуют гидропульпы.

Территории, отведенные под ЗШО, становятся непригодными для использования в сельском хозяйстве или для других целей, становятся зонами отчуждения.

Для создания зон отходов (золоотвалов) для золо-шлаковых примесей (ЗШП) в ТЭС, работающих на углях приведенные затраты, платежи на экологию, инвестиционные расходы составляют 5-7% от стоимости вырабатываемой электроэнергии.

В частности, для создания новых золоотвалов расходы могут составить 2-4 миллиарда рублей, для строительства ограждающих дамб более 1 миллиарда рублей, эти расходы оплачиваются потребителями энергии и тепла.

Обеспечение экологической безопасности ТЭС – это утилизация ЗШП.

В большинстве развитых странах уделяется большое внимание использованию ЗШП для производства строительных материалов: в Германии и в Дании используется около 100%, в США, Великобритании, Польше и в Китае – около 50-70%. Однако в странах СНГ только 8-10% ЗШП подвергается утилизации и используется при производстве строительных материалов.

На рынке товаров основные потребители ЗШО – строительная индустрия и промышленность строительных материалов. Использование ЗШП уменьшает себестоимость строительных материалов (цемента, сухих строительных смесей, бетона, строительных растворов и др.) минимум на 15-30%.

Таблица 1. – Эффективное использование золо-шлаковых смесей [1]

Направление использования	Вид золошлаковых отходов	Эффект использования — технический
Тяжелый бетон (в т. ч. гидротехнический)	Зола ТЭС и ЗШС заменитель части цемента	Экономия цемента 15...30 %; улучшение удобоукладываемости бетонной смеси; повышение коррозионной стойкости бетона; снижение тепловыделения при твердении
Легкие бетоны на пористых заполнителях	Зола ТЭС — мелкий заполнитель	Экономия 10...20 % цемента; снижение плотности бетона на 100...300 кг/м <sup>3</sup> по сравнению с керамзитобетоном на кварцевом песке
Ячеистый бетон	Зола ТЭС — заменитель песка и компонент смешанного вяжущего	Снижение расхода электроэнергии; уменьшение толщины стен по сравнению с кирпичными в 1,5...2 раза
Плотный силикатный бетон	Тоже	Экономия извести на 10...20 %, песка – на 20...30%; снижение средней плотности изделий на 150...300 кг/м <sup>3</sup>
Строительные растворы	Зола ТЭС — заменитель части цемента, извести и песка	Снижение расхода цемента или извести на 30...50 кг/м <sup>3</sup> , песка — на 200...300 кг; повышение удобоукладываемости; уменьшение водоотделения
Портландцемент (с минеральными добавками, пуццолановый; шлакопортландцемент)	Золы и шлаки ТЭС — активные минеральные добавки	Экономия клинкера 15...60 %; снижение расхода топлива на 30...40 %, электроэнергии — на 10... 15 %; повышение коррозионной стойкости цемента; снижение тепловыделения при твердении
Известковые вяжущие вещества	Золы и шлаки — как компоненты вяжущего взамен песка	Снижение расхода извести на 30...60 %, топлива — в 2...2,5 раза, электроэнергии на 50...60%
Цементный клинкер	Зола ТЭС — взамен глинистого компонента сырьевой смеси	Сокращение расхода топлива на 10... 15 %; снижение расхода основных сырьевых материалов на 20...30 %
Обжиговый глинозольный керамзит	Золы и шлаки ТЭС — основное сырье	По сравнению с керамзитовым гравием сокращается расход топлива на 60...70 %, электроэнергии на 10... 15 %
Безобжиговый зольный гравий	Золы и шлаки ТЭС — основной компонент сырьевой смеси	По сравнению с керамзитовым гравием сокращается расход топлива на 60...70 %, электроэнергии на 10... 15 %

При производстве бетонных смесей и строительных растворов в качестве минеральной добавки, частично заменяющей цемент, а также для частичной или полной замены мелкого заполнителя могут использоваться зола-унос и золошлаковый материал. Наиболее эффективно применение золы-уноса в бетонах низких классов (до В20), в частности в бетонах, применяемых для строительства плотин, фундаментов, оснований.

Количество вводимой золы колеблется от 30 до 90 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси. Качество применяемой в бетонах и строительных растворах золы-уноса должно соответствовать требованиям ГОСТ 25818–91, золошлакового материала – ГОСТ 25592–91. ГОСТ 25818–91 распространяется на золу-унос, которая применяется в качестве компонента для изготовления тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов, а также в качестве тонкомолотой добавки для жаростойких бетонов и минеральных вяжущих для приготовления смесей и грунтов в дорожном строи-

тельстве. Для изготовления тяжелых и легких бетонов, строительных растворов золы-унос применяют для снижения расхода цемента и заполнителей, улучшения технологических свойств бетонных и растворных смесей, повышения качества бетонов и растворов [2]. Недостаточный объем использования ЗШП объясняется следующими их недостатками – повышенное содержание зол (до 53%), пористость (до 1600 м<sup>2</sup>/кг), повышенное водопотребность, приводящая к снижению прочности строительных материалов и изделий на их основе.

Необходимо отметить, что совместный помол цементного клинкера и ЗШО приводит не только к уменьшению фракции цемента, но и к повышению их удельной поверхности, что увеличивает взаимодействие цементных частиц с водой. Однако, помол смесей снижает эффективность производства, а также использование ЗШО в бетонных смесях приводит к увеличению водопотребности, что приводит к снижению прочности бетонов.

На кафедре «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» Наманганского инженерно-строительного института под руководством профессора А.Хамидова проводятся научно-исследовательские работы для получения строительных материалов на основе золо-шлаковых примесей.

Для этих целей из различных компонентов (таблица 2) приготовлены образцы размером 40х40х40 мм. В качестве добавок использован пластификатор – сульфитно-дрожжевая барда (СДБ). Водоцементное отношение принято 0,5. В качестве эталона использован портландцемент марки 400 (без добавок). После 28-суточного твердения в нормальных условиях, образцы испытаны в лабораторных условиях для определения физико-механических характеристик. В исследованиях использованы результаты научных работ В.С.Прокопеца [3].

В таблице 2 приведены результаты исследований по определению физико-механических характеристик растворов, приготовленных из различных составов.

Таблица 2. – Физико-механических характеристики образцов

№	Содержание компонентов в вяжущем, %				Плотность, г/см <sup>3</sup>	Время схватывания, начало- конец, мин. - час.	Предел прочности после 28-суточного твердения, МПа	
	Цемент (М400)	Зола	Шлак	Добавки			при сжатии	растяжении при изгибе
1	100	-	-	-	3,1	45 - 10	40,2	6,2
2	70	30	-	-	3,2	50 - 11	34,8	3,2
3	27	40	30	3	3,04	52 - 11	39,5	6,4
4	36	40	20	4	3,05	53 - 13	40,7	6,5
5	47	29	19	5	3,07	55 - 14	41,5	6,6

Из таблицы видно, что при добавлении в состав растворной смеси только золы (2 состав) уменьшает его прочность.

При добавлении в состав растворной смеси кроме золы, шлака и добавок показатели образцов выше (по сравнению с 1 составом). Но, необходимо отметить, что в этом составе отсутствуют крупные заполнители [4].

Перспективные направления снижения водопотребности смесей – это использование пластифицирующих добавок (СДБ, суперпластификаторы С-3 и др.) и наномодификаторов (углеродные астралены, фуллероны и нанотрубки, оксиды металлов, известь, наночастицы и др.).

Введение в состав бетона пластифицирующих добавок и наномодификаторов улучшает их физико-механические характеристики, повышает прочность и величину модуля упругости, водонепроницаемость, и морозостойкость, снижает значения предельной деформации усадки [5].

Применение наномодификаторов для улучшения свойств бетонов на основе золошлаковых смесей открывает широкие возможности целенаправленного управления экономическими, технологическими и физико-механическими свойствами бетонов.

**Выводы.** Использование ЗШП при производстве строительных материалов в настоящее время является весьма актуальной как с экономической так и с экологической точки зрения. Цементные растворы на золошлаковых отходах имеют достаточную прочность и могут быть использованы для приготовления бетонов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Notify me of followup comments via e-mail: Н.Пастухов. Помощь технолога практика. Как сделать качественный и недорогой бетон и строительные материалы?
2. Copyright © 2012 - ООО ЭнергоЗолоРесурс.
3. В.С. Прокопец. Использование золо-шлаковых отходов для бетонов. // Вестн. СибАДИ. - 2008. - Вып.7. - С.22-30.
4. А. Хамидов. Исследование производства строительных материалов на основе золошлаковых примесей. Материалы Республиканской научно-практической конференции «Вопросы конструкционной и сейсмической безопасности зданий и сооружений в современном строительстве». Узбекистан, Наманган, 11-12 апреля 2017 года.
5. А. Хамидов. Определение свойств бетона на основе золо-шлаковых отходов. Материалы международной конференции «Инновации в строительстве, энергосберегающие технологии и сейсмическая безопасность конструкций сооружений», г.Наманган, 7-8 ноября 2019 г.

УДК 699.86

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСА  
В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ*А.И. Хамидов<sup>1</sup>, И. Ахмедов<sup>1</sup>, Ш. Юсупов<sup>1</sup>, Ш. Кузибаев<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Наманганский инженерно-строительный институт, Узбекистан

e-mail: adxamjon1954@gmail.uz

<sup>2</sup> Ферганский политехнический институт, Узбекистан

*В статье рассмотрены вопросы использования в энергоэффективном строительстве отделочных плит из гипсовых теплоизоляционных композиционных материалов на основе отходов сельского хозяйства и промышленности, рассмотрены составы, свойства этих материалов.*

**Ключевые слова.** Энергоэффективность, теплоизоляционные материалы, гипс, костра кенафа, стебли хлопчатника, рисовая лузга и древесная стружка, свойства.

## THE USE OF HEAT-INSULATING COMPOSITE GYPSUM IN ENERGY-EFFICIENT CONSTRUCTION

*A.I. Khamidov, I. Akhmedov, Sh. Yusupov, Sh. Kuzibaev*<sup>1</sup> Namangan Institute of Civil Engineering, Uzbekistan

e-mail: adxamjon1954@gmail.uz

<sup>2</sup> Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

*The article discusses the use of finishing boards made of gypsum heat-insulating composite materials based on agricultural and industrial waste in energy-efficient construction, the compositions and properties of these materials are considered.*

**Keywords.** Energy efficiency, insulation materials, gypsum, kenaf fire, cotton stalks, rice husks and wood chips, properties.

23 мая 2019 года принят Указ Президента Республики Узбекистан «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности строительных материалов» [1]. В Указе поставлена задача по созданию благоприятных условий для ускоренного развития и диверсификации отрасли, привлечения инвестиций в переработку местных минеральных сырьевых ресурсов и увеличения экспорта строительных материалов.

Строительство как приоритетная отрасль Узбекистана, занимает одно из первых мест по использованию материальных ресурсов. Современный размах строительства ставит задачу решения вопросов экономного и рационального использования ресурсов, прежде всего, реализации имеющихся резервов, т.е. создание малоотходных и энергосберегающих технологий с использованием отходов промышленности. Осуществление этих задач приводит, в первую очередь, к экономии дорогостоящих материальных ресурсов, а во-вторых, отказа от ввоза их из других регионов.

Так, по данным объединения «Узпромстройматериалы» за 9 месяцев 2020 года объём импорта различных строительных материалов составил 249 млн. долларов США [2].

В связи с этим, в современных условиях актуальным является изыскание возможности использования местных ресурсов для получения импортнозаменимых материалов, отвечающих техническим требованиям и способствующих улучшению экологической обстановки.

Для выполнения этих задач необходимо расширить номенклатуру строительных материалов путем использования энерго- и ресурсосберегающих строительных материалов на основе местных сырьевых ресурсов и отходов различных производств и прогрессивных технологий их производства.

Современные здания обладают большими возможностями по повышению их тепловой эффективности на базе формирования теплового и воздушного режима, оптимизации потоков теплоты и массы как в помещениях, так и ограждающих конструкциях [3].

Энергоэффективное строительство с каждым годом приобретает все большее развитие.

Главным оружием в борьбе за энергосбережение и снижение теплотерь является правильно выбранный теплоизоляционный материал.

Поэтому роль теплоизоляционных материалов при обеспечении энергоэффективности зданий велика. Применение теплоизоляционных материалов позволяет уменьшения толщины и веса стен и ограждающих конструкций и уменьшения основных строительных материалов (цемента, металла, кирпича).

Уменьшение веса конструкции особенно актуальна в сейсмических районах, так как при этом уменьшаются сейсмические нагрузки, связанные с весом зданий.

При выборе эффективных теплоизоляционных материалов необходимо учитывать их теплоизоляционные свойства, технологические особенности, экологическую безопасность, стоимость, объём их производства в стране и другие факторы [4]. Поэтому при выборе эффективных теплоизоляционных материалов необходим комплексный подход, с учётом их социальной, экономической и экологической значимости.

В связи с этим весьма актуальны исследования эффективных теплоизоляционных материалов (особенно с использованием местного сырья и отходов) для обеспечения энергоэффективности зданий

На кафедре "Производство строительных материалов, изделий и конструкций" Наманганского инженерно-строительного института проведены исследования с целью изучения вопроса использования отходов сельского хозяйства и промышленности для улучшения теплоизоляционных свойств гипса и получения на их основе отделочной плиты.

Как известно, большое распространение в строительстве в качестве теплоизоляционного материала получили плиты из гипса. Они применяются для оштукатуривания стен и потолков помещений. Благодаря гипсовому раствору обеспечивается хорошая звуко- и теплоизоляция. Применяется гипс главным образом для производства гипсовых и гипсобетонных строительных изделий, применяемых для внутренней части зданий (теплоизоляционных плит, сухой штукатурки, перегородочных плит и панелей и ряда других), а также для изготовления известково-гипсовых штукатурных растворов для внутренних стен зданий [5].

В производственных условиях для уменьшения расхода в состав гипса в качестве лёгких наполнителей используют искусственные пористые заполнители – перлит, вермикулит, аглопорит, пенополистирол и др. [6].

Для замены искусственных пористых заполнителей (относительно дорогих) в состав гипса (марки Г-5) в раствор, нами добавлены специальные добавки - органические наполнители: отходы сельского хозяйства (костра кенафа, стебли хлопчатника) и промышленности (рисовая лузга, древесная стружка).

Костра кенафа – отходы переработки стеблей кенафа (однолетнее волокнистое растение). Рисовая лузга – волокна длиной 6-8 мм, шириной 3-4 мм и толщиной 0.3-0.5 мм, промышленные отходы переработки риса. Волокна хлопчатника – волокна длиной 1-2 мм, толщиной 25 мкр, получают в результате измельчения стеблей хлопчатника. Древесная стружка – волокна длиной 5-10 мм, толщиной 20 мкр, отходы переработки древесины.

В исследованиях содержание наполнителей принято 5, 10 и 15%. Наиболее оптимальным является содержание наполнителей 10%. Поэтому в дальнейших испытаниях содержание наполнителей принято 10%

Для улучшения пластичности и смачиваемости, уменьшения количества воды затворения и увеличения сроков твердения гипсового теста использована комплексная химическая добавка СДж-2 [7].

Для определения теплофизических характеристик отделочной плиты на основе гипса с измельченными органическими наполнителями (костра кенафа, стебли хлопчатника, рисовая лузга и древесная стружка) и химической комплексной добавкой СДж-2 выбран метод теплового импульса с линейным источником тепла.

Изготовлены гипсовые плитки с различными наполнителями (с одинаковым содержанием наполнителя) размером 160x160x40. Для каждого испытания изготовлены по три образца. Испытания проводились на высушенных образцах до постоянной массы. До этого образцы твердели в естественных условиях. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Теплофизические характеристики отделочной плиты на основе композиционного гипса

№	Наименование наполнителей	Вид наполнителя	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	Удельная теплоёмкость, кДж/кгК
1	Костра кенафа		435	0.068	0.59
2	Волокна хлопчатника		450	0.078	0.71
3	Рисовая лузга		460	0.086	0.82
4	Древесная стружка		490	0.095	0.86

Как видно из таблицы 1, наиболее низкая теплопроводность у костра кенафа. Исходя из полученных данных, надо отметить, что теплопроводность материала зависит от плотности наполнителей. Кроме того, теплофизические свойства гипса зависят от содержания наполнителя в материале. С повышением содержания органического наполнителя в гипсе теплопроводность последнего снижается.

Исследования по определению биостойкости образцов показали, что разработанный гипсовый композиционный материал относится к группе биостойких материалов и не подвергается биодеструкции.

Испытания на огнестойкость теплоизоляционного гипса с органическими наполнителями проводились на образцах-плит с размером рёбер 150x60x10мм. Оценку горючести производили по потере массы образцом более пятиминутного действия огня. Результаты показали, что разработанный теплоизоляционный композиционный гипс на основе отходов сельского хозяйства и промышленности относится к группе трудно горючих материалов.

**Выводы.** Результаты проведённых исследований показали, что использования в энергоэффективном строительстве вместо искусственных пористых заполнителей (перлит, вермикулит, аглопорит, пенополистирол и др.) заполнителей отходов сельского хозяйства (органические наполнители: костра кенафа, стебли хлопчатника) и промышленности (рисовая лузга, древесная стружка) позволили получить теплоизоляционный композиционный материал, обладающий достаточно низкими показателями теплопроводности и теплоёмкости.

Необходимо отметить:

- Теплопроводность материала зависит от плотности и содержания наполнителя. Определено, что самым оптимальным является содержание наполнителя 10% от общей массы.
- По результатам испытаний можно сделать выводы, что новые гипсовые композиционные строительные плиты являются биостойкими и трудносгораемыми.
- При добавлении в состав нового гипсового композиционного строительного материала добавки СДж-2 повысилась пластичность и смачиваемость материала, понизилась количество воды затворения для гидратации гипса, повысилась водостойкость гипса.
- На основе гипсовых композиционных строительных материалов с добавлением пигментов можно изготовит искусственные отделочные плиты разных расцветок.
- Использование отходов сельского хозяйства и промышленности эффективно как с экономической (позволять снизить себестоимость теплоизоляционного гипса), так и с экологической точки зрения.

Отделочные плиты на основе композиционного гипса рекомендуется использовать в энергоэффективном строительстве в виде плит для отделки внутренних стен зданий, с целью обеспечения теплоизоляции внутри помещения, а также при обработке водостойкими составами и для внешней отделки фасадов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Республики Узбекистан «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности строительных материалов» 23 мая 2019 г.
2. Баходиров А.А. Современное состояние и перспектива производства строительных материалов в Узбекистане. Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции, СамГАСИ, Самарканд, 2020 г, 16-17 октября: - 9-10 с.
3. Хамидов, А.И. Использование теплоизоляционных материалов для крыш в энергоэффективном строительстве / А.И.Хамидов, Ф.Юлдашев // Научно-технический журнал ФерПИ. Спец. выпуск. - 2018.- 150-161с.
4. Теплоизоляционные материалы и энергоэффективность зданий. Статья. Журнал «Промышленные страницы Сибири» № 3 март 2017.
5. Свиридова Е.В. Теплоизоляция – важный элемент энергоэффективного строительства. НП «Росизол», г. Москва. 2018 г.
6. Тулаганов А.А. Местная сырьевая база строительных материалов. ТАСИ, Учебное пособие Ташкент, 2013. –104 с.
7. Samigov N.A, Karimov M.U, Mazhidov S.R, Mirzaev B.K. Physico-chemical structure of expanded clay concrete properties with complex chemical additive KDj-3 of the “relaxol” series//International Journal of Psychosocial Rehabilitation, Vol. 24, Issue 08, 2020 ISSN: 1475-7192.

УДК 691.5

## ЦЕМЕНТОПЕСЧАНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

*Т.И. Шевцова, Д.С. Махина, К.А. Попова*

Оренбургский государственный университет, Российская Федерация

e-mail: domolir@yandex.ru

*Исследования материаловедов, в последнее время, направлены на создание новых и совершенствование свойств уже зарекомендовавших себя материалов, с использованием вторичного сырья. В данной работе приведены результаты исследований по утилизации полимерных коммунальных отходов в качестве фибры в цементно-песчаных композитах на базе местного минерального сырья. Дан анализ ситуации по накоплению твердых коммунальных отходов, рассмотрены тенденции утилизации их в мировой и российской практике. Подтверждены реальные возможности использования полимерных отходов как вторичного сырья для производства строительных материалов.*

**Ключевые слова:** *твердые коммунальные отходы, полимерные отходы, вторичное сырьё, полимерная фибра, цементно-песчаные композиты, физико-механические свойства.*

## THE SAND CEMENT COMPOSITES USING MUNICIPAL SOLID WASTE

*T. Shevtsova, D. Mahina, K. Popova*

Orenburg State University, Russian Federation

e-mail: domolir@yandex.ru

*Recently, research of materials scientists has been aimed at creating new and improving the properties of already proven materials using secondary raw materials. Article analysis findings on the utilization of polymer municipal waste as fibra in sand cement composites, which based on local mineral raw materials. Analysis of the existing state on concentration of municipal solid waste is given, tendencies of their utilization in world and Russian practice are considered. The real opportunities of using polymer wastes as secondary raw materials for the production of building materials have been confirmed.*

**Keywords:** *municipal solid waste, polymer wastes, secondary raw materials, polymeric fibra, sand cement composites, physical and mechanical properties.*

Загрязнение окружающей среды за счет накопления различного рода отходов имеет глобальный мировой масштаб. Прирост объема только твердых коммунальных отходов в различных странах колеблется от 3 до 10% в год, которые в результате разложения при длительном их хранении загрязняют все компоненты среды: воду, воздух, почву, растительный и животный мир. В Российской Федерации уровень накопления отходов составляет 0,3 – 0,5 т / чел. в год., это около 60 млн т, часть из них сжигается, и только 28,6 % повторно перерабатывается, а большой объем мусора продолжает накапливаться, несмотря на наличие в нем ценных утильных фракций.

Определение твердых коммунальных отходов (ТКО) впервые было прописано Федеральным законом от 29.12.2014 № 458-ФЗ «Об отходах производства и потребления». ТКО – это отходы, формируемые в ходе повседневной жизни человека или в результате деятельности организаций либо предприятий, чья работа не связана напрямую с производством товаров, выполнением работ и услуг.

Твердые коммунальные отходы занимают огромные площади, в том числе и сельскохозяйственные угодья. По данным Минприроды России 60% от этого объема занимает полимерный отработанный мусор. Полимеры, универсальное изобретение, применимы практически во всех областях жизни человека, все больше распространяясь, естественно, образуют отходы т.к. из них много изготавливается изделий с малым реальным сроком службы (одноразовая посуда, различная тара и т.д.), которые необходимо утилизировать, и как утверждают ученые, не разлагаются они более века.

В мировой практике вектор решения проблемы утилизации полимерных отходов направлен на их промышленную переработку. В России опыт применения полимерных коммунальных отходов, как вторичного сырья, тоже имеется. Работают предприятия по производству полимерпесчаной тротуарной плитки, черепицы и т.д.

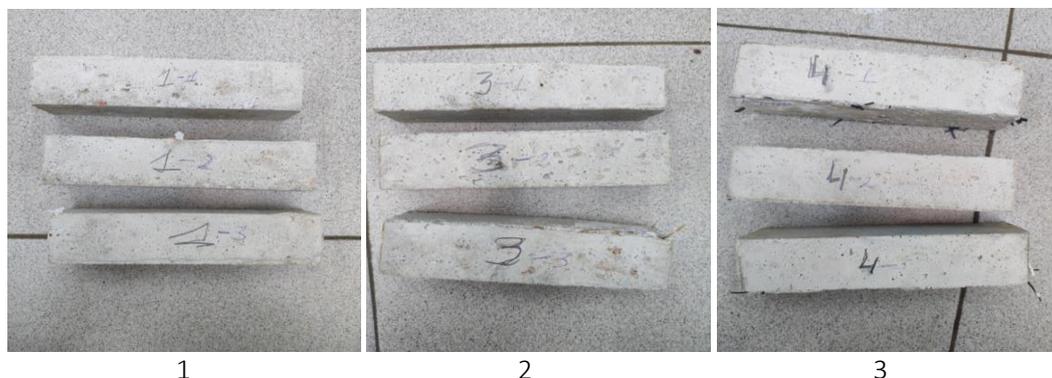
Отрасль строительных материалов постоянно развивается, внедряя новые технологии, создавая новые экономически выгодные материалы, усовершенствуя давно используемые. К примеру, бетон, который на протяжении 200 лет является незаменимым конструкционным материалом с существенными недостатками такими, как большая масса конструкций, слабая прочность при растяжении, образование трещин в процессе эксплуатации. Над улучшением свойств постоянно работают ученые. Для повышения прочностных характеристик его армируют дисперсными металлическими и неметаллическими волокнами (фибрами).

Цель нашей работы расширить возможности утилизации полимерного бытового мусора с использованием местного минерального сырья для изделий жилищно-коммунального и дорожного хозяйства.

Проводимые нами исследования направлены на разработку цементно-песчаных композитов с использованием в качестве фибры полимерных коммунальных отходов.

Работа проводилась на цементно-песчаных составах с использованием следующих исходных материалов: портландцемент АККЕРМАНН/ЮУГПК М400» г. Новотроицк; песок Архиповского месторождения Оренбургской области, Мк – 2; три вида фибры - из пластиковых бутылок (ПБ), полиэтиленовых пакетов (ПП); твердой пластиковой канистры (ПК).

Исследования проводились на образцах-балочках (рисунки 1–3) размером 4 × 4 × 16, с соотношением цемент : песок 1:3, размеры мягкой фибры 2 мм × 100 мм, жесткой 2 мм × 36 мм (ограничены размером формы). Замесы изготавливались вручную, в каждом готовился контрольный образец без фибры, уплотнение велось на виброплощадке с вертикально направленными колебаниями. Образцы выдерживали в камере естественного твердения 14 суток, после испытания результат пересчитывали на стандартную прочность (28 суток).



1 – Образцы с фиброй из ПП; 2 – Образцы с фиброй из ПБ; 3 – Образцы с фиброй из ПК

Рисунок 1. – Подготовленные к испытаниям образцы-балочки после твердения в нормальных условиях



Образцы с фиброй из ПП



Образцы с фиброй из ПБ



Образцы с фиброй из ПК

Рисунок 2. – Образцы-балочки после испытания на изгиб



Образцы с фиброй из ПБ



Образцы с фиброй из ПП

Рисунок 3. – Образцы-балочки после испытания на сжатие

В таблице 1 выборочно представлены результаты проведенного исследования.

Таблица 1. – Результаты испытаний образцов

№ замеса	Тип фибры	№ балочки	Размеры (ахbхL), см	Масса (г)	Объем (см <sup>3</sup> )	Плотность г/см <sup>3</sup>	R <sup>14</sup> <sub>изг</sub>	R <sup>14</sup> <sub>сж</sub>	R <sup>28</sup> <sub>изг</sub>	R <sup>28</sup> <sub>сж</sub>
1	Фибра из ПБ (10 г.)	1.1 контр. образец	4х4х16	456,5	256,0	1,78	26,9	71,2	34,9	92,6
		1.2	4х4х16	476,7	256,0	1,86	34,5	96,4	44,9	125,3
		1.3	4х4х16	470,3	256,0	1,84	28,0	91,6	36,4	119,1
2	Фибра из ПБ (8 г.)	2.1 контр. образец	4х4,2х16,1	546,1	270,5	2,02	44,7	222,0	58,1	279,7
		2.2	4х4х16,1	537,4	262,4	2,05	44,5	223,2	57,9	290,2
		2.3	4,1х4,1х16	544,6	269,0	2,03	41,8	201,6	54,3	262,1
3	Фибра из ПП (5 г.)	3.1 контр. образец	4х3,8х16	430,2	243,2	1,77	28,8	86,8	37,4	112,8
		3.2	4х4,1 х 16	506,2	262,4	1,93	48,4	148,0	62,9	192,4
		3.3	3,9х4х16,1	506,0	251,2	2,02	29,0	162,0	37,7	210,6
4	Фибра из ПП (2 г.)	4.1 контр. образец	3,9х4,1х16,1	504,6	257,4	1,96	40,9	104,4	53,17	135,7
		4.2	4х4х16	547,8	256,0	2,14	58,6	261,2	76,2	339,6
		4.3	4,2х4х16	559,4	268,8	2,08	58,2	285,2	75,7	370,8
5	Фибра из ПК	5.1 контр. образец	4х4х16	538,2	256,0	2,1	37,0	201,8	48,1	254,2
		5.2	4х4,3х16	569,0	275,2	2,06	39,5	231,2	49,77	291,3
		5.3	4,1х4,1х16,2	565,2	272,32	2,07	46,2	243,6	58,2	306,9

Полученные результаты на данном этапе исследования прочности затвердевших цементно-песчаных композитов, изготовленных на местном минеральном сырье с фиброй из полимерных отходов, после испытаний стандартных образцов на изгиб и сжатие, увеличение прочности в сравнении с эталонным образцом при использовании фибры: из пластиковой бутылки (R<sub>изг</sub> = 3-28%, R<sub>сж</sub> = 0-35,6%), из полиэтиленового пакета (R<sub>изг</sub> = 0,8-43%, R<sub>сж</sub> = 70-172%), из

полимерной канистры ( $R_{изг} = 3-20\%$ ,  $R_{сж} = 14-20\%$ ), позволяют сделать следующие выводы: все виды используемой фибры из полимерных коммунальных отходов, улучшают прочностные характеристики материала, и количественная характеристика прочности зависит от вида и массы введенной фибры, причем по нашим результатам незначительное уменьшение фибры увеличивает прочность, т.е. наблюдается некая особенность, но закономерность не обнаружена. Следовательно, дальнейшие исследования будут проводиться на выявление оптимального количества вводимой фибры при котором достигаются максимальные значения показателей прочности и определении наиболее эффективного её вида.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Распоряжение Правительства РФ от 25 января 2018 г. № 84-р Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71767672>
- 2 Федеральный закон от 29 декабря 2014 г. № 458-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. <https://vtorothody.ru/utilizatsiya/89-fz-ob-othodah-proizvodstva-i-potrebleniya.html>
- 3 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. [http://www.mnr.gov.ru/docs/proekty\\_pravovykh\\_aktov/proekt\\_gosudarstvennogo\\_doklada\\_o\\_sostoyaii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii](http://www.mnr.gov.ru/docs/proekty_pravovykh_aktov/proekt_gosudarstvennogo_doklada_o_sostoyaii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii)
- 4 Шишакина, О.А. Полимерные композиционные материалы в строительстве / О.А. Шишакина, А.А. Паламарчук // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – №12 (часть 2) – С. 234-238.
- 5 Горох, Н.П. Технология переработки полимерных отходов с учетом базы данных источников их образования / Н.П. Горох, Э.Ю. Шевченко, Ю.В. Ярошенко, В.Н. Кись, В.А. Вороненко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/6 (58) – С. 56-64.
- 6 Шевцова, Т. И. Перспективные направления использования твердых коммунальных отходов [Электронный ресурс] / Т. И. Шевцова, А. Ю. Вострикова // Оренбургские горизонты: прошлое, настоящее, будущее: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 275-летию Оренбург. губернии и 85-летию Оренбург. обл., 21-22 нояб. 2019 г., Оренбург / Правительство Оренбург. обл., М-во образования Оренбург. обл., Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т"; гл. ред. А. С. Боровский. - Электрон. дан. - Оренбург: Фронтир, 2019. - С. 446-449.

UDC 666.973.2

COMPOSITES BASED ON ORGANIC MATERIALS AND METHODS OF REMOTE CONTROL  
OF THEIR QUALITY DURING EXPLOITATION

A. Yagubkin, Y. Jinbin, Zh. Zhixu

e-mail: a.yagubkin@psu.by

*Green building is gaining more and more activity in the world. A number of countries are already introducing environmental design and construction standards. Such indicators as environmental friendliness, economy, energy efficiency, ensuring a healthy lifestyle and comfort are increasingly coming to the fore. Microscopic analysis of wood concrete cement stone with various additives was carried out. A schematic diagram of software for remote material quality control is proposed. The main approaches to monitoring the state of building materials or structures, incl. made of wood concrete or other organic materials.*

**Keywords:** composites, organic materials, woodconcrete, methods, remote control, quality, exploitation, microstructure, green building

**Introduction.** In recent years, green building is gaining more and more activity in the world. A number of countries are already introducing environmental design and construction standards [1]. Such indicators as environmental friendliness, economy, energy efficiency, ensuring a healthy lifestyle and comfort are increasingly coming to the fore [2]. Increasingly, medical research on health hazards from buildings and structures is emerging. So with an increase in height (from the 7th floor and above), due to the shielding of reinforced concrete structures, the impact of the earth's geomagnetic field decreases, which leads to cardiovascular diseases [3]. In multi-storey buildings, interference from wi-fi and blue-tooth networks leads to cancer and developmental retardation in children [4]. Narrow small rooms cause a tendency to depression, alcoholism; in children - isolation, autism. In rooms made of reinforced concrete structures, low humidity, which leads to asthmatic diseases. In rooms with aerated concrete walls, high humidity during the first 3 years of operation leads to allergies, fungi, and infectious diseases. When airing the room, expanded polystyrene can emit vapors that irritate the eyes and mucous membranes. Polyvinyl chloride (PVC) gives off gases that affect the nervous system. Silicate bricks and phosphogypsum give off a gas that affects the respiratory system, therefore constant ventilation is necessary. For bonding mineral wool fibers, substances containing phenols and formaldehydes [5].

The recognized leader in environmental friendliness is organic materials, incl. wood concrete. This material has spread and is actively used throughout the world [6-12].

The combination of cement and wood leads to the creation of a material that is able to regulate the indoor climate, incl. regulation of humidity occurs due to the plant origin of the aggregate [6]. Moreover, the material has a high durability [7]. As a filler, various plant wastes can be used [8], as a partial replacement for cement - ash or clay [8, 9]. Another feature of using this material is the use of only local raw materials. So, in China, pine sawdust is used [10], in the Republic of Belarus - agricultural waste [11].

To correctly determine the residual life of structures, the initial data must be determined by the results of field tests and measurements, which is not always possible. The solution is the creation and application of control and monitoring systems for the state of objects [13]. Strain gauges, ultrasonic sensors, temperature, humidity, ph sensors, etc. are used as primary sensors to obtain information characterizing the parameters of the state of the structure. [14].

**Main part.** The microstructure of wood concrete with various additives is as follows.

In samples with the addition of calcium chloride (Figure 1a), reducing substances are blocked in the form of large yellow clusters. This allows us to conclude that the harmful effect of reducing sub-

stances on the processes of setting and hardening of cement stone will be reduced. In samples with the addition of potassium sulfate (Figure 1b), reducing substances are also blocked in the form of yellow clusters, which allows us to conclude that this additive is effective.

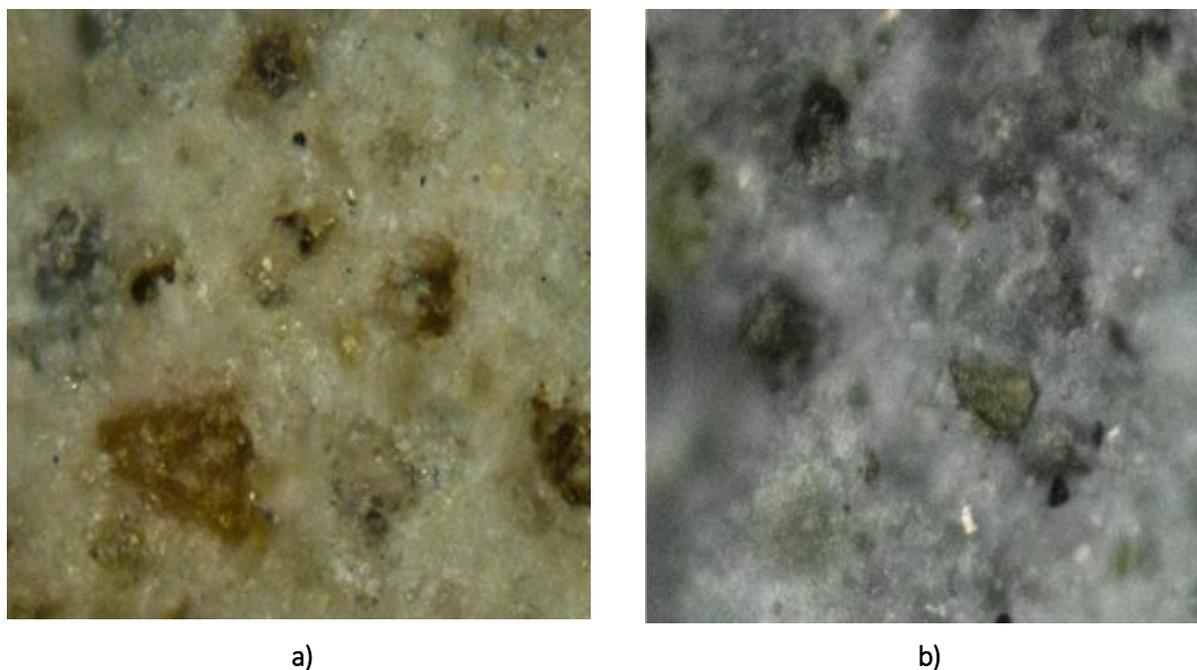


Figure 1. – Microscopic analysis of modified additive calcium chloride (a) and potassium sulfate (b) cement stone (magnification 100 times)

A high-quality monitoring system for the state of a material or structure should monitor all of the following parameters:

- type and number of sensors;
- location of the sensors installation;
- density of data collection;
- positioning;
- data transfer;
- storage and processing of data;
- implementation of a data and decision-making system;
- information system.

Distinguish between mechanical and physical groups of methods for controlling the quality of building materials or constructs [15]. Mechanical methods are based on local destruction of structures at test points. The strength properties of the material are assessed by the force required to destroy a part of the product (when strength test for shearing ribs or for pulling off an anchor device), for hardness according to surface (when tested by impact methods). These methods are quite simple, from the point in terms of testing, however, they differ in low accuracy, do not provide information on the availability of defects in the structure, are not very suitable for a detailed examination of the layers of a rigid road clothes during operation. Physical methods are more informative. These include radiometric, electrical tricheskikh and vibroacoustic control methods. The use of these methods makes it possible to obtain read data on the strength properties of the structure, thickness and density, the presence of hidden defects, evaluate its reliability [16].

The ultrasonic method was developed primarily for assessing the quality of cement concrete of civil engineering products, where testing on the main scheme - end-to-end sounding of structures. In cases where the use of such a scheme is difficult, a sounding scheme was developed for one-way access to the product. However, using such a test scheme is possible when determining the sounding coefficient based on a series of tests on laboratory samples for each type of mixture. Currently, in the context of limited funds for the diagnosis of building materials and structures for the subsequent planning of repair and reconstruction is of particular relevance to economical and mobile inspection methods based on the use of non-destructive testing (NDT) devices.

The main element of remote monitoring of the quality of material or construction should be software. The features of the program will be: the ability to automatically connect to the previously selected bluetooth device to the sensor, voice recognition of the text, displaying the values read from the sensors in real time. The program interface and connection diagrams of some sensors are shown in Figure 2.

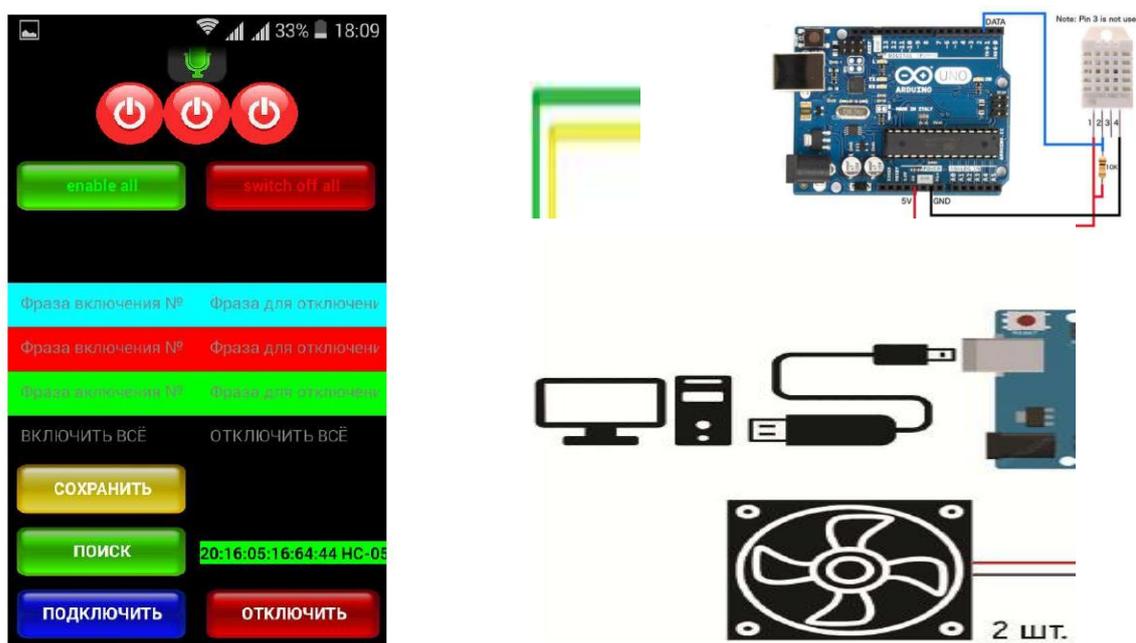


Figure 2. – Program interface and connection diagrams of some sensors

Also one of the modern monitoring methods is laser scanning. Sensors register laser signals reflected from various surfaces; each reflected signal is recorded in the system memory as a point in three-dimensional space. The main advantage of the laser scanning method is the ability to quickly survey in conditions of non-stop moving traffic, without blocking roads and disrupting the operation of transport infrastructure.

During the operation of a building structure, fatigue damage accumulates in concrete due to the effects of moisture and corrosive environments, various strengths and time durations of loads, leading to micro fractures in the material, temperature fluctuations, periodic freezing. Defrosting and thawing, as well as due to disruption of contacts between the cement stone and the aggregate. These damages at the initial stage of development are not detected by means of magnetic, eddy current and ultrasonic control, because such active methods do not carry information about the dynamics of the development of defects and the behavior of the object during the influence of the listed influences. The question of the safe operation of such structures can be resolved only with the use of non-destructive testing (NDT) devices that are sensitive to insignificant developing defects. In this regard, the task of identifying growing cracks, including those at the initial stage of development, seems to be especially urgent. To solve

such a problem, an integral survey method based on the phenomenon of acoustic emission (AE) has proven itself well [17]. A fairly rapid course of physical processes of structural change in a limited volume of material (plastic deformation, destruction, formation and growth of cracks, movement of dislocations, phase transformations, friction, etc.) is accompanied by the emission of acoustic waves. Described the phenomenon is called the AE of the material and is used in nondestructive testing (NDT) to detect defects actively developing under load. An important advantage of the presented method is the direct connection of the informative parameters of the AE signals with the destruction processes, which is not characteristic of traditional methods. This allows one to obtain direct information about the stage of development and growth rate [10].

At present, the method of acoustic emission is one of the most widespread and widely developed methods of non-destructive testing. It is used in various industries for non-destructive testing and research of technological processes [12]. As the analysis of the state of modern physical methods of non-destructive testing shows, at present, the method of acoustic emission (AE), shown in Figure 3, is most promising for diagnosing the corrosion process directly at the facility during its operation.

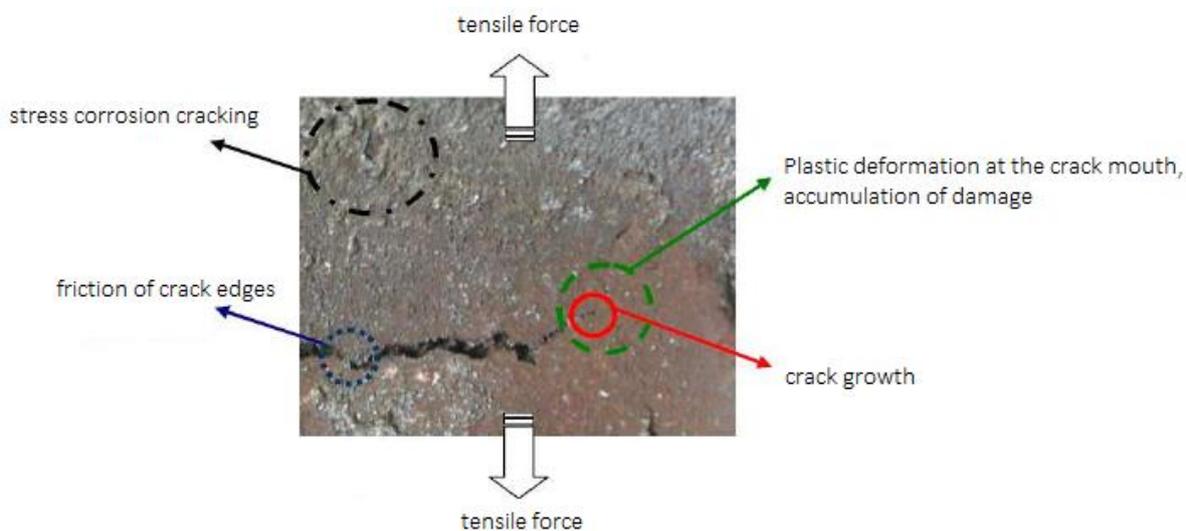


Figure 3. – Fragment of material with a defect and typical sources of AE material

**Conclusion.** Microscopic analysis of wood concrete cement stone with various additives was carried out. A schematic diagram of software for remote material quality control is proposed. The main approaches to monitoring the state of building materials or structures, incl. made of wood concrete or other organic materials.

LITERATURE

1. Green Awards [Электронный ресурс] / Экологический стандарт BREEAM. – Режим доступа: <http://www.greenawards.ru/ru/green-awards-history/green>. – Дата доступа: 02.10.2018.
2. Журнал «Архитектура и строительство» [Электронный ресурс] / Зелёное строительство. – Режим доступа: <http://ais.by/article/zelenoe-stroitelstvo>. – Дата доступа: 02.10.2018.
3. Медицинский форум [Электронный ресурс] / Высота и здоровье. – Режим доступа: <https://www.medikforum.ru/medicine/61010-zhit-vyshe-7-etazha-opasno-dlya-zdorovya.html>. – Дата доступа: 02.10.2018.

4. Wilson, J. D. Modeling the effects of biological tissue on RF propagation from a wrist-worn device / J. D. Wilson, J. A. Blanco, S. Mazar, M. Bly // 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. doi:10.1109/embc.2014.6944290. – 2014. – p. 3146-3149.
5. Правда-TV [Электронный ресурс] / Экология строительных материалов. – Режим доступа: <http://www.pravda-tv.ru/2013/03/11/22874/e-kologiya-stroitel-ny-h-materialov>. – Дата доступа: 02.10.2018.
6. Li, M. Mechanical characterization of concrete containing wood shavings as aggregates / M. Li, M. Khelifa, M. El Ganaoui // International Journal of Sustainable Built Environment. – 2017. – №6. – P. 587-596.
7. Coatanlem, P. Lightweight wood chipping concrete durability / P. Coatanlem, R. Jauberthie, F. Rendell // Construction and Building Materials. – 2006. – №20. – P. 776-781.
8. Chowdhury, S. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview / S. Chowdhury, M. Mishra, O. Suganya // Ain Shams Engineering Journal. – 2015. – №6. – p. 429-437.
9. Bouguerra, A. Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete prepared from clay, cement, and wood aggregates / A. Bouguerra, A. Ledhem, F. de Barquin, R.M. Dheilly, M. Que'neudec // Cement and Concrete Research. – 1998. – Vol. 28. - №8. – p. 1179-1190.
10. Koohestani, B. Experimental investigation of mechanical and microstructural properties of cemented paste backfill containing maple-wood filler / B. Koohestani, A. Koubaa, T. Belem, B. Bussière, H. Bouzazah // Construction and Building Materials. – 2016. – №121. – p. 222-228.
11. Долгонож, А.В. Определение теплофизических свойств стеновых материалов на растительных заполнителях в климатической камере / А.В. Долгонож, Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А.А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – С. 263–271.
12. Akkaoui, A. Experimental and micromechanical analysis of the elastic properties of wood-aggregate concrete / A. Akkaoui, S. Caré, M. Vandamme // Construction and Building Materials. – 2017. – №134. – p. 346-357.
13. Шешуков, А.Н. Применение телеметрических систем для мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций / А.Н. Шешуков // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений : сб. науч. трудов ; под ред. Д.Н. Лазовского. – Минск, 2001. – С. 402–404.
14. Измерения в промышленности : справ. изд.: в 3-х кн. – 2-е изд., перераб. и доп. Кн. 1. ; пер. с нем. / под ред. проф. П. Профоса. – М. : Металлургия, 1990. – 384 с.
15. Шабанов Д.Н. Параметры сигналов акустической эмиссии и их применение при мониторинге состояния структуры бетона / Шабанов Д.Н., Ягубкин А.Н., Вабищевич С.А., Боровкова Е.С., Трамбицкий Е.А // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. - 2019. - No 8. - С. 74-78.
16. Timo Saarenketo. Integrated Monitoring of Seasonal Variations and Structural Responses to Enable Intelligent Asset Management of Road Infrastructures/ Timo Saarenketo // Information Technology in Geo-Engineering, Proceedings of the 3rd International Conference (ICITG), Guimarães, Portugal, 2019. - p. 687-698.
17. Kandhal P. S. Effect of asphalt film thickness on short and long term aging of asphalt paving mixtures / P. S. Kandhal, S. Chakaraborty // NCAT Report 96-01. – 1996. – 16 p.

УДК 69.002.5

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
БЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ**В.А. Хватынец<sup>1</sup>, Л.М. Парфёнова**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [v.hvatynec@psu.by](mailto:v.hvatynec@psu.by)

*В статье определяются основные технологические свойства бетонной смеси для строительного 3D-принтера, а также рассматриваются современные методики их определения. Приведены наиболее используемые методики, требуемое оборудование и описана основная их задача.*

**Ключевые слова:** 3D-печать, строительный 3D-принтер, технологические свойства, методики испытаний.

MODERN APPROACHES IN DETERMINING TECHNOLOGICAL PROPERTIES  
OF CONCRETE MIX FOR 3D PRINTING**V.A. Khvatynets<sup>1</sup>, L.M. Parfenova**

Polotsk state university, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [v.hvatynec@psu.by](mailto:v.hvatynec@psu.by)

*The article defines the main technological properties of concrete mix for a construction 3D printer, and also discusses modern methods for their determination. The most used techniques, the equipment required, and their main task are described.*

**Keywords:** 3D printing, building 3D printer, technological properties, test methods.

3D-печать в строительстве используется не первый год, и в связи с развитием этой технологии разрабатываются новые составы для печати [1]. Однако, для успешного подбора состава, следует чётко понимать какие характеристики у полученной бетонной смеси являются ключевыми и как их правильно определять.

В публикации [2], авторами отмечается, что основными технологическими характеристиками бетонных смесей для 3D печати являются: подвижность, экструдированность, стабильность формы, сроки схватывания и усадка.

Показатель подвижности должен гарантировать что раствор будет легко перекачиваться в системе транспортировки и легко проходить через экструдер. Мелкодисперсные минеральные добавки могут заполнять пустоты и давать смазывающий эффект для раствора.

Для оценки показателя подвижности существует несколько различных методик [2].

Первая методика согласно ГОСТ [3] определяет подвижность бетона с использованием конуса. Согласно методике, конус заполняют бетонной смесью, штыкуют, и кельмой выравнивают верх. После чего, конус снимают с отформованной бетонной смеси, при этом время поднятия конуса 5-7 секунд. Осадку конуса определяют, ставя форму рядом и приложив к её верху металлическую пластину, доходящую до бетонной смеси.

Второй метод связан с использованием V-образной воронки (рисунок 1). В эксперименте, воронка полностью заполняется бетонной смесью, после чего открывает низ и засекается время. Время, затраченное на полное опустошение воронки, показывает подвижность раствора. Однако, застревание смеси в суженной части, свидетельствует о неудовлетворительном показателе экструдированности и показывает необходимость доработки состава.

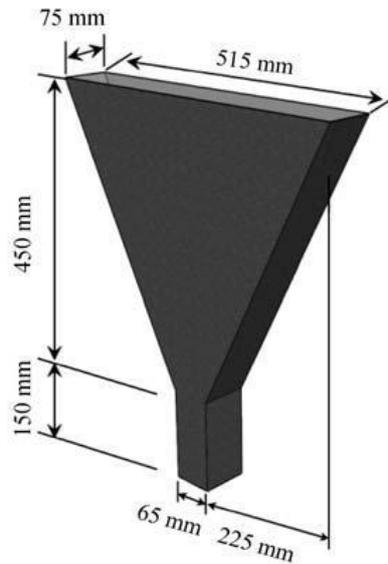


Рисунок 1. – V-образная воронка

Третья методика основана на использовании L-образного приспособления и называется L-box (рисунок 2). Также, как и в предыдущем методе, помимо подвижности, предварительно можно определить и экструдруемость смеси.

При проведении испытания, вертикальная часть заполняется бетонной смесью, после чего поднимается задвижка и бетон переходит из вертикальной части в горизонтальную. После остановки определяют высоту бетонной смеси, оставшейся в вертикальной части ( $H_1$ ) и высоту в горизонтальной части ( $H_2$ ). Итоговым значением, определяющим подвижность, является отношение  $H_1/H_2$ .

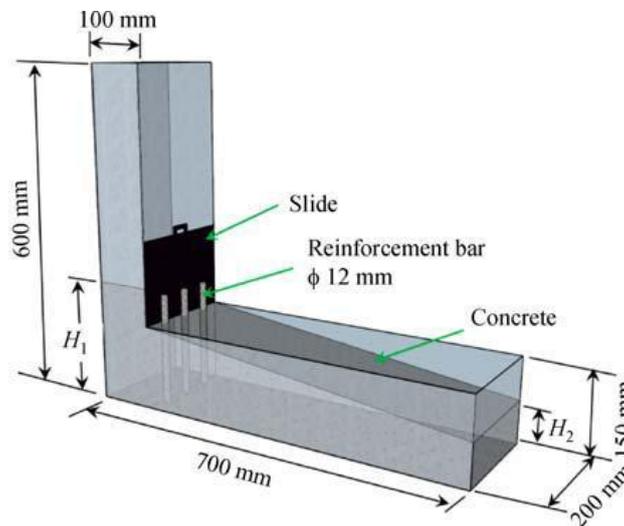


Рисунок 2. – L-box

Экструдруемость показывает способность раствора непрерывно доставляться через трубы и проходить через сопло принтера. Достижение хорошего показателя экструдруемости возможно при использовании заполнителей округлой формы, а также при значительном объеме цемента для заполнения пустот.

Авторы в статье [4] определяют показатель экструдруемости с использованием смоделированного устройства для имитации процесса 3D-печати строительным принтером. Устройство представляет из себя строительный пистолет для выдавливания герметика.

Материал экструдировался через сопло диаметром 8мм. При этом оценивалось сразу два параметра – возможность использования состава при печати по показателю экструдированности и стабильность формы. Стабильность формы проверялась при последовательной печати десяти слоёв в течении 10 минут. Высота каждого слоя составляла 5 мм, а ширина – 10 мм. Поскольку при проведении испытания все напечатанные, один на один, десять слоёв не подверглись геометрическим деформациям, делается заключение что состав пригоден для печати по показателю стабильности формы. Однако при этом следует учитывать, что при создании слоя с использованием ручного механизма, скорость печати и расстояние между экструдером и напечатанными слоями непостоянны, а от них зависит итоговый результат геометрии слоя.

При оценке показателя экструдированности смотрится непрерывность напечатанного слоя, его постоянная геометрическая форма и отсутствие пустот и разрывов. Напечатанный образец должен быть ровным и одинаковым по всей своей длине, только в этом случае есть основания утверждать, что состав подходит для 3D-печати по показателю экструдированности.

Стабильность формы показывает способность печатного материала сохранять форму после печати. Для напечатанного слоя существует три основных вида деформации: от собственного веса, от веса следующего слоя, от давления экструдера [5]. Даже при сохранении формы при действии собственного веса, слой может потерять стабильность формы при дальнейшей печати, исходя из этого, важными являются все три показателя. Высокий показатель достигается за счёт высокого содержания песка и мелкого заполнителя. На стабильность формы так же влияют размеры сопла и геометрия получаемого слоя.

Для оценки показателя стабильности формы, Али Каземьян и соавторы собрали стенд, состоящий из площадки для печати слоя, рядом устанавливалась камера, снимающая весь процесс печати и фиксирующая конечный результат, и возле места печати располагалась линейка, используемая как шкала для отслеживания деформаций.

Для полной правильности определения стабильности формы, следует знать время, через которое будет наноситься второй слой, т.к. от этого напрямую зависит какую прочность уже успеет набрать первый слой. В эксперименте взяли проект одноэтажного дома, и исходя из его периметра и скорости печати, рассчитали какой интервал времени между нанесением первого и второго слоя, он составил 19 минут. После этого, был напечатан первый слой и через 19 минут второй. Итоговым брался средний результат из пяти экспериментов, который и показывает деформацию слоя от действия выше напечатанной полосы.

Для обеспечения непрерывного процесса печати, требуется что бы материал имел значительный показатель сроков схватывания, при этом, начало твердения не должно увеличиваться. Значение начала схватывания должно быть оптимально подобрано таким образом, чтобы при печати последующего слоя, между ними образовалась связь, однако сразу после этого требуется начало схватывания и набор прочности, для исключения деформаций от нагрузки вышележащих слоёв.

Сроки схватывания определяются согласно ГОСТ [6] при помощи прибора Вика, при этом используется игра с сечением 1 мм<sup>2</sup>. Данный способ является наиболее информативным относительно остальных и поэтому применяется в большинстве случаев для оценки сроков схватывания смесей для 3D-печати. Приготовление смеси допускается в механической мешалке или ручным методом. После чего, смесь погружают в специальную форму и опускают в неё иглу через равные промежутки времени, составляющие 2 минуты. Началом схватывания называется время, прошедшее от момента добавления воды в смесь до того момента, когда игла будет не доходить 2-4 мм до нижней пластины. Конец схватывания – время от начала затворения, до момента, когда игла опускается в цементное тесто не более 1-2 мм.

В итоге проведённого анализа, выявлены основные технологические характеристики бетонной смеси для строительного 3D-принтера. Определены основные методики испытаний,

закрепившиеся в мировой практике, наиболее точно отражающие требуемые параметры. Определена взаимосвязь между рассматриваемым технологическими свойствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хватынец, В. А. Современный уровень развития строительных 3D-принтеров / В.А. Хватынец, Л.М. Парфёнова // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – 28-29 ноября 2019. – Электронный сборник статей II международной научной конференции. – С. 327-331.
2. Guowei M.A. A critical review of preparation design and workability measurement of concrete material for largescale 3D printing / M.A. Guowei, Li WANG // *Frontiers of Structural and Civil Engineering* – 2017. – С. 1–19.
3. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний.
4. Bao Y. Three-dimensional printing multifunctional engineered cementitious composites (ECC) for structural elements / Bao, Y., Xu, M., Soltan, D., Xia, T., Shih, A., Clack, H.L., & Li, V.C. // *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*. – Springer, Cham, 2018. – С. 115-128.
5. Kazemian A. A framework for performance-based testing of fresh mixtures for construction-scale 3D printing / Kazemian, A., Yuan, X., Meier, R., & Khoshnevis, B. // *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*. – Springer, Cham, 2018. – С. 39-52.
6. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.

УДК 666.973.2

ПЛИТЫ ИЗ ОЧЕСОВ ЛЬНА ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ  
СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ КАРКАСНОГО ДОМАС.А. Романовский<sup>1</sup>, А.А. Бакатович<sup>2</sup>

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [s.romanovskiy@psu.by](mailto:s.romanovskiy@psu.by), <sup>2</sup> [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by)

Приведены сведения о натурных испытаниях экспериментальных теплоизоляционных плит на основе волокон льна в конструкции стенового ограждения деревянного каркасного дома. Основываясь на полученных данных рассчитаны значения сопротивления теплопередачи стенового ограждения при температуре наружного воздуха от 0 °С до -22 °С и построены зависимости распределения влаги по толщине теплоизоляционного слоя. Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о наибольшей эффективности теплоизоляционных материалов из льняных очесов по сравнению с утеплителями на основе волокон льна.

**Ключевые слова:** очесы льна, льняные волокна, утеплитель, натриевое жидкое стекло, влажность, термическое сопротивление теплопередаче.

PLATES BASED ON FLAX NOILS FOR THERMAL INSULATION  
OF WALL ENCLOSURES OF FRAME HOUSESS. Romanovskiy<sup>1</sup>, A. Bakatovich<sup>2</sup>

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [s.romanovskiy@psu.by](mailto:s.romanovskiy@psu.by), <sup>2</sup> [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by)

The information on full-scale tests of experimental heat-insulating plates based on flax fibers in the construction of wall fencing of a wooden frame house is presented. Based on the data obtained, the values of the heat transfer resistance of the wall enclosure were calculated at an outside air temperature from 0 °C to -22 °C and the dependences of the distribution of moisture over the thickness of the heat-insulating layer were constructed. The results of the tests carried out indicate the highest efficiency of heat-insulating materials made of linen noils in comparison with heaters based on flax fibers.

**Keywords:** flax noils, linen fibers, heater, liquid glass, humidity, thermal resistance to heat transfer.

**Введение.** Растительные отходы представляют собой постоянно возобновляемые много-тоннажные продукты, получаемые во всем мире. Технологии по использованию растительного сырья реализуются во многих странах для производства волокнистых теплоизоляционных материалов благодаря высоким физико-механическим показателям и экологической чистоте получаемых утеплителей. Ряд исследователей отмечают, что увеличение объемов применения растительных отходов не только обеспечит строительство дополнительным сырьём и расширит номенклатуру местных строительных материалов, но и будет способствовать сохранению и рациональному использованию природных ресурсов [1, 2]. Состав, плотность и теплопроводность волокнистых теплоизоляционных материалов на растительном сырье обобщены и представлены в таблице 1.

Теплоизоляционные материалы из растительных волокон (таблица 1) обладают высокими теплотехническими показателями, отличаются высокой экологичностью и составляют серьёзную конкуренцию утеплителям на основе неорганических волокон. Наряду с положительными свойствами конкурентоспособность приведенных материалов уменьшается по причине высокой стоимости, для ряда утеплителей горючести и низкой плотности.

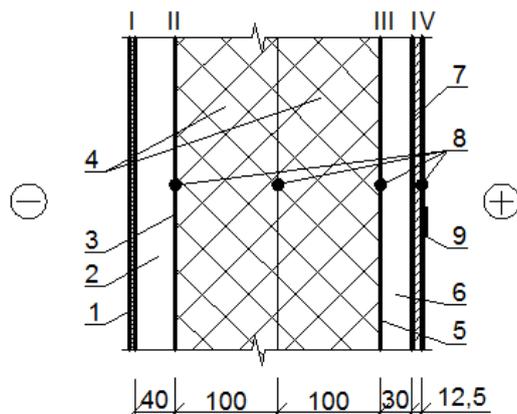
Таблица 1. – Состав, плотность и теплопроводность теплоизоляционных материалов на основе растительных волокон

№	Заполнитель	Вязущее	Добавки	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Ссылки
1	древесное волокно	биоклей	-	50-100	-	[3]
2	древесное волокно	поливинилацетатный клей	-	81	0,042–0,05	[4]
3	древесное волокно	парафиновая эмульсия	-	150-250	0,06	[5]
4	древесное волокно	-	антисептик и антиперен	35-40	0,041	[6]
5	вторичная волоконистая масса	поливинилацетатный клей	-	69	0,049–0,051	[7]
6	вторичная волоконистая масса	-	борная кислота и бора	30-50	0,038-0,041	[8]
7	вторичная волоконистая масса	-	антипирен	30-75	0,032-0,041	[9, 10]
8	эвкалиптовые волокна	фенольная смола	-	80-250	0,05–0,07	[11]
9	мох-сфагнум	жидкое стекло	-	155–170	0,034–0,04	[12]
10	мох-сфагнум и слома	жидкое стекло	-	156–190	0,044–0,046	[13, 14]
11	конопля	полиэстер	сода	35–40	0,038–0,04	[15, 16]
12	отход хлопка	жидкое стекло	-	40–100	0,037–0,041	[17, 18]
13	волокна коры масличной пальмы	-	-	66–110	0,03–0,09	[19]
14	волокна коры масличной пальмы	жидкое стекло	гипс и известь	135–168	0,046–0,047	[20]
15	волокна льна	крахмал	соли бора	32–34	0,038–0,04	[21]
16	волокна льна	полиэфирные волокна	-	30	0,038–0,04	[22]

В настоящее время в лабораториях кафедры строительного производства Полоцкого государственного университета производятся комплексные исследования по разработке теплоизоляционных плит со структурообразующим материалом из льняных очесов [23]. Целью испытаний является получение экологически безопасного утеплителя на основе отходов растениеводства с высокими теплофизическими показателями и пониженной горючестью, обеспечивающего экологическую безопасность для человека и не содержащего в составе органических, синтетических связующих, а также полимерных компонентов структурообразующих материалов. Проведенные исследования плит из очесов подтверждают возможность применения теплоизоляционных материалов в качестве утеплителя для зданий и сооружений. Однако, окончательную эффективность теплоизоляционных плит возможно подтвердить только прямыми натурными испытаниями материалов в конструкциях эксплуатируемых зданий с постоянной фиксацией основных теплофизических характеристик и мониторингом общего состояния. В альтернативных исследованиях применяются экспериментальный утеплитель из волокон льна и теплоизоляционные плиты «Акотерм флакс» [22]. Теплоизоляционный материал «Акотерм флакс» содержит 85% льняных волокон и 15% полиэфирных волокон. Коэффициент теплопроводности материала соответствует 0,038–0,04 Вт/(м·°С), паропроницаемость равна 0,4 мг/м·ч·Па, звукопоглощение составляет 0,98 при средней плотности 30 кг/м<sup>3</sup>.

**Основная часть.** В осенне-весенние периоды на протяжении 2018-2021 годов проводились натурные исследования экспериментальных теплоизоляционных плит в наружном сте-

новом ограждении каркасного дома. Изменения теплофизических процессов, происходящих в конструкции стенового ограждения, фиксировались применяя информационно-измерительный комплекс РТП-1-16Т. На рисунке 1 приведена схема расположения термопар и датчиков теплового потока в стеновой конструкции с экспериментальными утеплителями.



- 1 – фасадная кассета; 2 – воздушная прослойка; 3 – гидроветрозащитная мембрана;  
 4 – теплоизоляционные плиты; 5 – пароизоляция; 6 – воздушная прослойка;  
 7 – гипсокартон; 8 – термопары; 9 – датчик теплового потока; I, II, III, IV - границы слоев ограждения

Рисунок 1. – Схема расположения термопар и датчиков тепловых потоков по сечению наружной стены деревянного каркасного дома

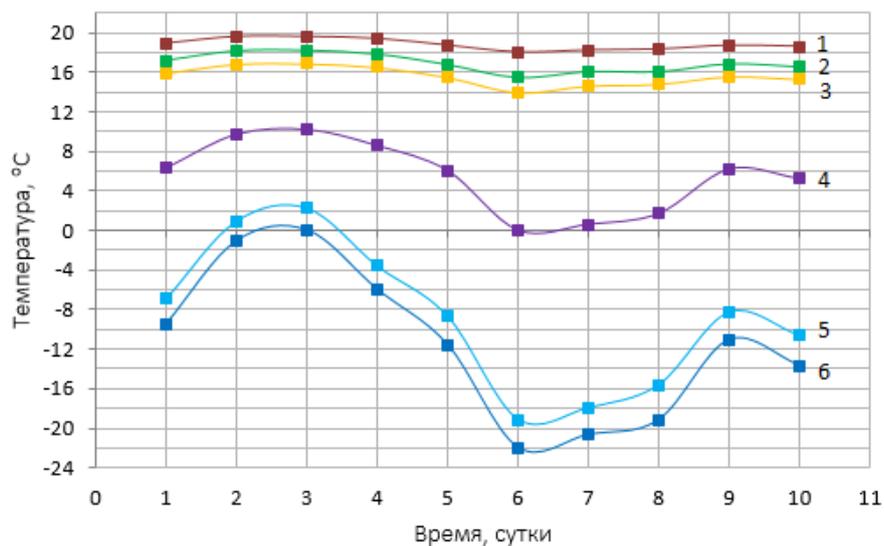
Конструкция стенового ограждения включала в себя гипсокартонный лист, воздушную прослойку, пароизоляцию, теплоизоляционные плиты из льняных очесов (стена 1), волокон льна (стена 2) и смеси льняных и полиэфирных волокон (стена 3), гидроветрозащитную мембрану, воздушную прослойку и фасадную кассету. Материалы на основе очесов или волокон льна изготавливали в виде плит размером 1000×500×100 мм. Количественный состав, плотность и теплопроводность теплоизоляционных материалов в сухом состоянии представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Состав, плотность и теплопроводность теплоизоляционных материалов в сухом состоянии

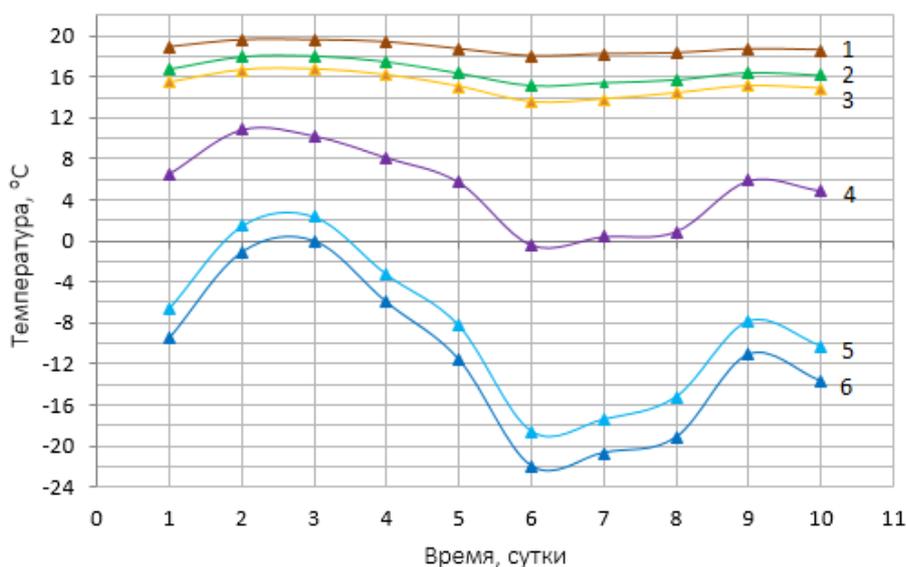
№ состава	Расход компонентов на 1 м <sup>3</sup> , кг						Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
	Волокно льна	очесы льна	жидкое стекло	полиэфирное волокно	известь	гипс		
1	-	90	9	-	0,5	0,5	100	0,038
2	90	-	9	-	0,5	0,5	100	0,045
3	29	-	-	5	-	-	34	0,04

Низкая плотность образцов «Акотерм флакс» обусловлена применяемой технологией структурообразования при формовке утеплителя, не позволяющей изготавливать материал более высокой плотности.

Для примера рассмотрен натуральный эксперимент в период с 11 по 20 января 2021 года, в течение 10 суток, с наиболее низкими ночными температурами наружного воздуха на территории Полоцкого района Витебской области (Беларусь). По результатам измерений установлено, что распределение температур для теплоизоляционных плит из смеси льняных и полиэфирных волокон практически совпадает с утеплителями из очесов волокна льна, поэтому на рисунке 2 представлены только графики распределения температур по толщине стеновых ограждающих конструкций с теплоизоляционными плитами из очесов и волокон льна. Значения температур приняты как средние величины показаний температур с 21 часа вечера до 7 часов утра.



а)



б)

а) – стена 1; б) – стена 2; 1 – температура воздуха в помещении, °С; 2 – температура поверхности гипсокартона границе IV, °С; 3 – температура поверхности пароизоляции на границе III, °С; 4 – температура между теплоизоляционными плитами, °С; 5 – температура поверхности гидроветрозащитной мембраны на границе II, °С; 6 – температура наружного воздуха, °С

Рисунок 2. – Распределение температуры по толщине наружного стенового ограждения деревянного каркасного дома

Анализ графиков распределения температур (рисунок 2) показывает, что наиболее холодными являются ночные часы шестых суток. Разница температур на поверхностях стенового ограждения с утеплителями на основе льняных очесов в ночные часы седьмых суток составляет 34,1 °С, что превышает амплитуду стены 2, равную 32,2 °С и идентично с показателем стенового ограждения 3.

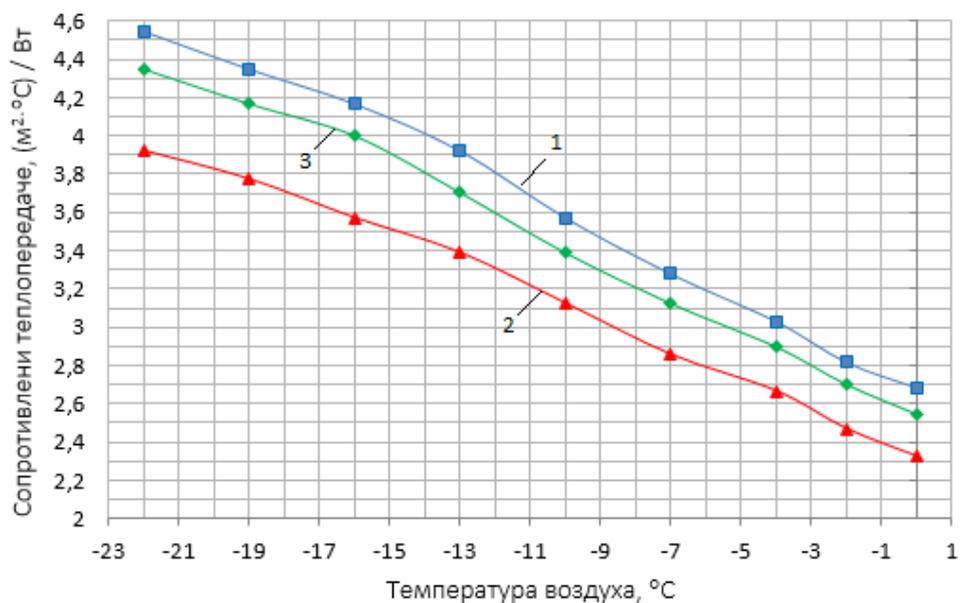
На основании графиков (рисунок 2) в таблице 3 приведены средние значения распределения температур в жилом помещении, стеновом ограждении и наружного воздуха за рассматриваемый временной период. Из представленных данных установлено, что величина средней температуры ограждения с утеплителями из очесов за 10 суток на поверхности гид-

роветрозащитной мембраны не отличается от показателя стены с плитами «Акотерм флакс» и на 0,9 °С ниже, чем у стенового ограждения с материалами на основе льняных волокон. Для стены 1 средняя температура между утеплителями за аналогичный период выше на 0,5 °С, чем для значения стены 2 и идентично величине стены 3. Средний показатель температуры ограждения с плитами из очесов за 10 суток на поверхности гипсокартона со стороны помещения не отличается от показателя стены с материалами на основе льняных и полиэфирных волокон и на 0,8 °С выше, чем у стенового ограждения с утеплителями из волокон льна.

Таблица 3. – Средние показатели температур

Показатель	Стена 1	Стена 2	Стена 3
Температура наружного воздуха, °С	-11,5	-11,5	-11,5
Температура поверхности гидроветрозащитной мембраны на границе II, °С	-9,1	-8,2	-8,7
Температура между теплоизоляционными плитами, °С	5,6	5,1	5,5
Температура поверхности пароизоляции на границе III, °С	15,8	15,1	15,4
Температура поверхности гипсокартона на границе IV, °С	17,1	16,3	16,8
Температура воздуха в помещении, °С	18,8	18,8	18,8

Основываясь на полученных показателях плотностей тепловых потоков определены термические сопротивления теплопередачи конструкции стенового ограждения в зависимости от температуры воздуха (рисунок 3).



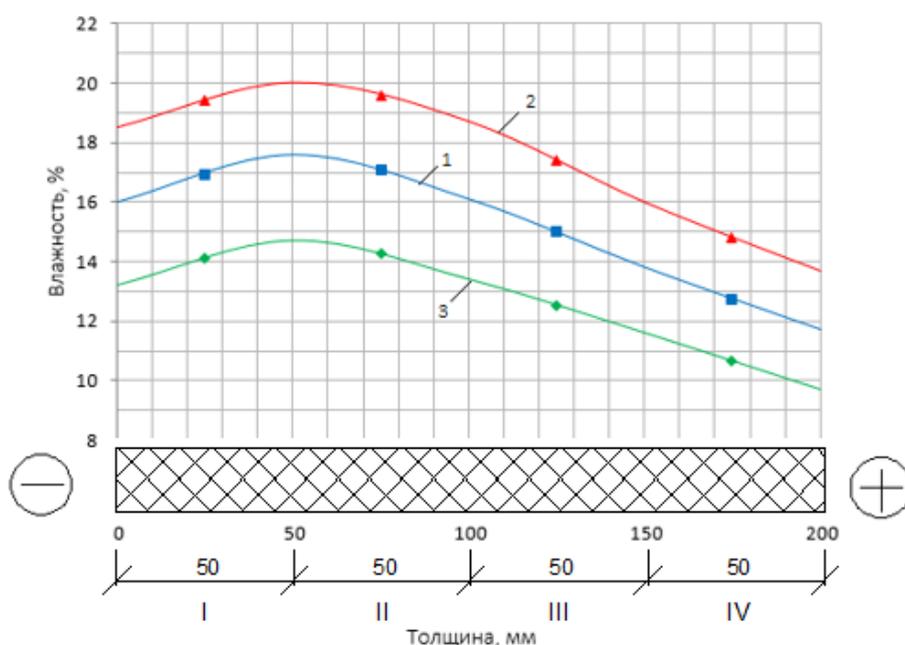
Стеновое ограждение с утеплителем на основе: 1 - очесов льна, 2 - волокон льна, 3 - смеси льняных и полиэфирных волокон

Рисунок 3. – Сопротивления теплопередачи стенового ограждения в зависимости от температуры наружного воздуха

В процессе анализа полученных результатов (рисунок 3) установлено, что величина термического сопротивления стенового ограждения с плитами из очесов льна при температуре наружного воздуха -22 °С равна 4,55 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, что на 16% больше значения термического сопротивления теплопередачи ограждения с утеплителями на основе льняных волокон. Показатель наружного ограждения, содержащий теплоизоляционный материал «Акотерм флакс»

имеет близкое значение с сопротивлением теплопередачи стены 1 и равен  $4,34 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ . Величина термического сопротивления теплопередачи стеновых ограждений с экспериментальными плитами при температуре наружного воздуха  $0^\circ\text{C}$  изменяется в пределах  $2,33\text{--}2,68 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ . Прирост значения термического сопротивления стены с теплоизоляционными плитами из очесов с  $2,68 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$  до  $4,55 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$  при понижении температуры наружного воздуха до  $-22^\circ\text{C}$  свидетельствует об эффективной работе теплоизоляционных материалов на основе льняных очесов.

По окончании проведения мониторинга определены значения влажности теплоизоляционных плит. Для этого предварительно по толщине материалов вырезали образцы-призмы размером  $50\times 50\times 100 \text{ мм}$ . Образцы-призмы по поперечному сечению разрезали на отдельные фрагменты длиной  $50 \text{ мм}$ . Далее каждый образец-фрагмент взвешивали и помещали в сушильный шкаф. По достижении постоянной массы образцы снова взвешивали. Влажность определяли по величине изменения массы фрагментов до и после сушки. Изменения показателя влажности по структуре теплоизоляционных материалов представлены на рисунке 4.



1 – утеплитель из очесов льна; 2 – утеплитель из волокон льна;  
3 – утеплитель из смеси льняных и полиэфирных волокон

Рисунок 4. – Распределение влажности в теплоизоляционных плитах

На основании полученных данных (рисунок 4) установлено среднее значение влажности теплоизоляционных плит на основе льняных очесов, равное  $15,3\%$ . Полученная величина для материалов состава 2 (таблица 2) ниже показателя влажности утеплителей из волокон льна на  $14\%$  и превышает на  $19\%$  значение плит «Акотерм флак». Влажность образца-фрагмента I теплоизоляционных материалов на основе очесов волокна льна на  $13\%$  меньше величины утеплителя (состав 2, таблица 2), равного  $19,8\%$  и на  $19\%$  выше, чем у теплоизоляционных плит из льняных и полиэфирных волокон. Максимальное количество влаги содержится в образцах-фрагментах II. Так, влажность материалов на основе очесов достигает  $17,1\%$ , что на  $13\%$  ниже влажности утеплителя из волокон льна и на  $20\%$  выше показателя теплоизоляционных плит «Акотерм флак». Следует отметить, что участок наибольшего увлажнения образцов-

фрагментов 2 по сравнению с фрагментами 1 связан с вертикальной циркуляцией воздуха вдоль наружной поверхности плит, способствующей испарению влаги из поверхностных слоев утеплителя. Влажность фрагмента 4 утеплителей на основе очесов льна относительно фрагмента 2 уменьшается до 12,8%, что на 20% превышает аналогичной величины теплоизоляционного материала из льняных и полиэфирных волокон и на 14% ниже значения плит на основе волокон льна.

Снижение показателя влажности в материале (состав 3, таблица 2) относительно значений плит на основе льняных очесов обусловлено присутствием в утеплителе «Акотерм флукс» полиэфирных волокон, приводящих к снижению поглощенной материалом влаги из воздуха относительно очесов волокна льна. Однако, не смотря на более высокую влажность плит из очесов по сравнению с материалами на основе смеси льняных и полиэфирных волокон наиболее высокие значения сопротивления теплопередачи образцов (состав 1, таблица 2) достигаются за счет разнонаправленного расположения хаотично ориентированных элементарных волокон в структуре утеплителя, препятствующего конвективному переносу воздуха в результате уменьшения размеров тонких воздушных прослоек неправильной формы и их частичной локализации в виде отдельных замкнутых микропустот.

**Заключение.** Натурные испытания теплоизоляционных материалов подтвердили возможность применения плит из льняных очесов как эффективного утеплителя для стенового ограждения каркасного дома. По итогам испытаний установлено, что при эксплуатации наружного стенового ограждения влажность теплоизоляционного материала на основе льняных очесов составляет 15,3% и при температуре наружного воздуха -22 °С обладает сопротивлением теплопередачи, равным 4,55 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт. Стеновые конструкции с утеплителями из льняных и полиэфирных волокон по термическому сопротивлению приближаются к установленному значению стены с материалами на основе очесов льна.

Исследуемые теплоизоляционные плиты из очесов находятся в стеновом ограждении на протяжении 3-х лет. В процессе постоянно ведущегося мониторинга не зафиксированы биоповреждения, деформации, изменения геометрических размеров теплоизоляционных материалов. Существенное снижение влажности утеплителя в результате подсушивания за летний период обеспечивает долговременную эксплуатацию теплоизоляционных плит и эффективную теплоизоляцию стенового ограждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Давыденко, Н.В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Н.В. Давыденко. – Новополоцк, 2016. – 28 с.
2. Якубов, С.Э. Теплопроводность и механические свойства строительных материалов на основе минерального и растительного сырья : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.04.14 / С.Э. Якубов. – Душанбе, 2006. – 34 с.
3. Стрикун, В.В. Получение теплоизоляционного материала из древесного волокна на основе биоклея / В.В. Стрикун, М.А. Баяндин, А.В. Намятов, В.Н. Ермолин // Актуальные проблемы лесного хозяйства. – 2017. – № 48. – С. 86–87.
4. Ермолина, А.В. Получение теплоизоляционного плитного материала на основе древесного волокна / А.В. Ермолина, П.В. Миронов, А.В. Бышев // Актуальная проблема лесного комплекса. – 2010. – № 25. – С. 186–189.
5. Журавлева, Л.Н. Мягкие древесно-волокнистые плиты – теплоизоляционный материал / Л.Н. Журавлева, А.Н. Журавлева // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 11. – С. 181–184.
6. Теплоизоляционный материал. RU 2149148 / В. И. Берюков, В.В. Данилов, Н.М. Пашков – Оpubл. 20.05.2000.

7. Лучинкин, С.Г. Получение теплоизоляционных материалов на основе вторичного целлюлозного волокна / С.Г. Лучинин, В.А. Кожухов, Ю.Д. Алашкевич // ИВУЗ. Лесной журнал. – 2017. – № 6. – С. 151–155.
8. Ермолина, А.В. Получение и свойства теплоизоляционного материала на основе вторичной волокнистой массы / А.В. Ермолина, П.В. Миронов // ИВУЗ. Лесной журнал. – 2011. – № 4. – С. 109–114.
9. Горегляд, С. Ю. Экологически чистые материалы для строительства / С.Ю. Горегляд // Строительные материалы. – 1996. – № 4. – С. 5–6.
10. Иванов, Г.В. Новый экологически чистый теплоизоляционный материал – эковата / Г.В. Иванов // Строительные материалы. – 1995. – № 1. – С. 21.
11. Bialosau, A. Materiais compostos para isolamento termico de materias primas naturais e aglutinantes minerais / A. Bakatovich, F. Gaspar // Livro de Resumos 3 O Congresso Luso – Brasileiro de Materiais de construçao sustentaveis. Coimbra, Portugal. – 2018. PP. 16 – 27.
12. Manohar, K. / A Comparison of Banana Fiber Thermal Insulation with Conventional Building Thermal Insulation / K. Manohar, A. Adeyanju // British Journal of Applied Science & Technology. – 2016. – № 17 (3). – Pp. 1–9.
13. Бакатович, А.А. Микроструктура как основной критерий, определяющий использование мха сфагнума в качестве заполнителя для эффективного плитного теплоизоляционного материала / А.А. Бакатович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 42–46.
14. Becerra, C. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus / C. Becerra, J. Montory // The 13 th pacific rim bio-based composites symposium «Bio-based composites for a sustainable future, Chile. – 2016. PP. 46–50.
15. Якунина, Е.А. Современные теплоизоляционные материалы, как одна из тенденций экологического строительства / Е.А. Якунина // Синергия наук. – 2018. – № 24. – С. 625–634.
16. Богатова, Т.В. Преимущества и особенности безопасных природных утеплителей / Т.В. Богатова, А.И. Двойцына // Инженерные сети и сооружения. ISSN 2074-188X. – 2016. – № 3–4 (24–25). – С. 14–19.
17. Rozyev, M. Thermal insulation material, using waste cotton production as a placeholder / M. Rozyev, A. Bakatovich // XI Junior Researchers , Conference. European & national dimension in research. Architecture and civil engineering. Polotsk state University. Novopolotsk, PSU, 2019. – № 11. – P. 64–66.
18. Бакатович, А.А. Теплоизоляционный материал на заполнителе из отходов переработки хлопкового волокна / А.А. Бакатович, М. А. Розыев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 8. – С. 29–33.
19. Hassan, S. Comparison study of thermal insulation characteristics from oil palm fibre / S. Hassan, A. Tesfamichael, M. Mohd Nor // MATEC Web of Conferences. ICPER 2014 - 4 th International Conference on Production, Energy and Reliability. – 2014. – Volume 13. – P. 5.
20. Romanovskiy, S., Insulating material on the basis of bark fibre of the olive palm tree / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // European and National Dimension in Research: IX Junior Researchers , Conference, Novopolotsk, April 26–27, 2017: in 3 p. // Polotsk state University. – Novopolotsk, PSU, 2017. – P. 3. – P. 104–107.
21. Советников, Д.О. Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга / Д.О. Советников, Д.О. Семашкина, Д.В. Баранова // Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. – 2016. – № 12 (51). – С. 7–19.
22. Плиты теплоизоляционные звукопоглощающие. Технические условия ТУ ВУ 391129716.001-2015. – Введ. 27.07.2015. – Ореховск – 2015. – 10 с.
23. Romanovskiy, S. Physical parameters of insulation with a structure-forming material from flax noils / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // E3S Web of Conferences 212, 02014 (2020), 2020 International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020) : doi.org/10.1051/ e3sconf /202021202014.

УДК 691.162

**ОЦЕНКА РЕСУРСА ИЗДЕЛИЙ НА ОРГАНИЧЕСКОМ ВЯЖУЩЕМ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ  
И ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Е.С. Боровкова<sup>1</sup>, Д.Н. Шабанов<sup>2</sup>, Д.О. Окунев<sup>3</sup>**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [e.borovkova@psu.by](mailto:e.borovkova@psu.by), <sup>2</sup> [d.shabanov@psu.by](mailto:d.shabanov@psu.by), <sup>3</sup> [d.okunev@psu.by](mailto:d.okunev@psu.by)

*Приведены результаты мониторинга структурных изменений в искусственных конгломератах на органическом вяжущем методом акустической эмиссии (АЭ). Представлены экспериментальные исследования в образцах асфальтобетона при внешних и внутренних нагрузках. Определена связь между прочностными и АЭ характеристиками каждого образца при одноосном нагружении, а также проведено компьютерное моделирование оценки упругих свойств образцов по схеме «бразильского теста».*

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, асфальтобетон, «бразильский метод», компьютерное моделирование.

**RESOURCE ASSESSMENT OF PRODUCTS BASED ON ORGANIC BINDER  
USING THE ACOUSTIC EMISSION METHOD AND VIRTUAL SIMULATION**

**E. Borovkova<sup>1</sup>, D. Shabanov<sup>2</sup>, D. Okunev<sup>3</sup>**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [e.borovkova@psu.by](mailto:e.borovkova@psu.by), <sup>2</sup> [d.shabanov@psu.by](mailto:d.shabanov@psu.by), <sup>3</sup> [d.okunev@psu.by](mailto:d.okunev@psu.by)

*The results of monitoring of structural changes in artificial conglomerates based on organic binder by acoustic emission (AE) are presented. Experimental studies in asphalt concrete samples under external and internal loads are presented. The relationship between the strength and AE characteristics of each sample under uniaxial loading is determined, and the elastic properties of the samples are modeled according to the "Brazilian test" scheme.*

**Keywords:** acoustic emission, asphalt concrete, "Brazilian method", computer modeling.

**Введение.** Конгломераты активно формируют свои свойства в процессе эксплуатации, в результате чего возникающие изменения оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на их структуру на разных масштабных уровнях. Информация о поведении материалов на этих уровнях является крайне важной для оценки эксплуатационных характеристик строительных конструкций, а также для создания новых материалов и технологий.

Структуру асфальтобетонной смеси и асфальтобетона обычно разделяют на три подсистемы [1]:

1. Микроструктура – двухкомпонентная система, состоящая из битума и наполнителя (минерального порошка).
2. Мезоструктура – двухкомпонентная система, состоящая из асфальтового вяжущего вещества и песка.
3. Макроструктура – двухкомпонентная система, состоящая из асфальтового раствора и заполнителя.

Каждая подструктура представляется состоящей из двух условно сплошных взаимопроникающих сред: твердого каркаса (скелета) и жидкой (или отвердевшей) сплошной фазы. В процессе формирования структуры асфальтобетона каждая жидкая фаза насыщается в определенной степени диспергированными в ней частицами твердой фазы и образует тот или иной тип конгломератной структуры [1].

Важнейшей задачей для правильного конструирования дорожных асфальтобетонных покрытий и выбора путей повышения их долговечности является установление закономерностей поведения асфальтобетонных покрытий в условиях воздействия непрерывно изменяющихся эксплуатационных факторов [2]. Сложность этой задачи в значительной степени определяется особенностями реологического поведения асфальтобетона как многокомпонентного термопластичного материала. С помощью метода АЭ можно регистрировать внутреннюю структурную активность асфальтобетона. Данный метод предпочтителен тем, что он показывает чувствительность захвата многочисленных сигналов упругих волн еще во время схватывания материала.

В настоящее время метод акустической эмиссии является одним из наиболее распространенных и широко развиваемых методов неразрушающего контроля. Он применяется в различных отраслях промышленности для проведения неразрушающего контроля и исследования технологических процессов [3]. АЭ метод основан на явлении генерации упругих волн при структурных изменениях материала. Достаточно быстрое протекание физических процессов изменения структуры в ограниченном объеме материала (пластическая деформация, разрушение, образование и рост трещин, движение дислокаций, фазовые превращения, трение и т.д.) сопровождается излучением акустических волн [4]. Данный метод предпочтителен тем, что он показывает чувствительность захвата многочисленных сигналов упругих волн еще во время схватывания материала. С помощью метода АЭ можно регистрировать внутреннюю структурную активность асфальтобетона в процессе его формирования.

**Исследовательская часть.** Нами были исследованы сигналы АЭ в образцах из асфальтобетона, подверженные как внутренним напряжениям (влияние растворов солей NaCl), так и внешним (режим одноосного деформирования). В работе были исследованы как образцы, изготовленные в лабораторных условиях, так и керны, вырезанные из дорожного полотна.



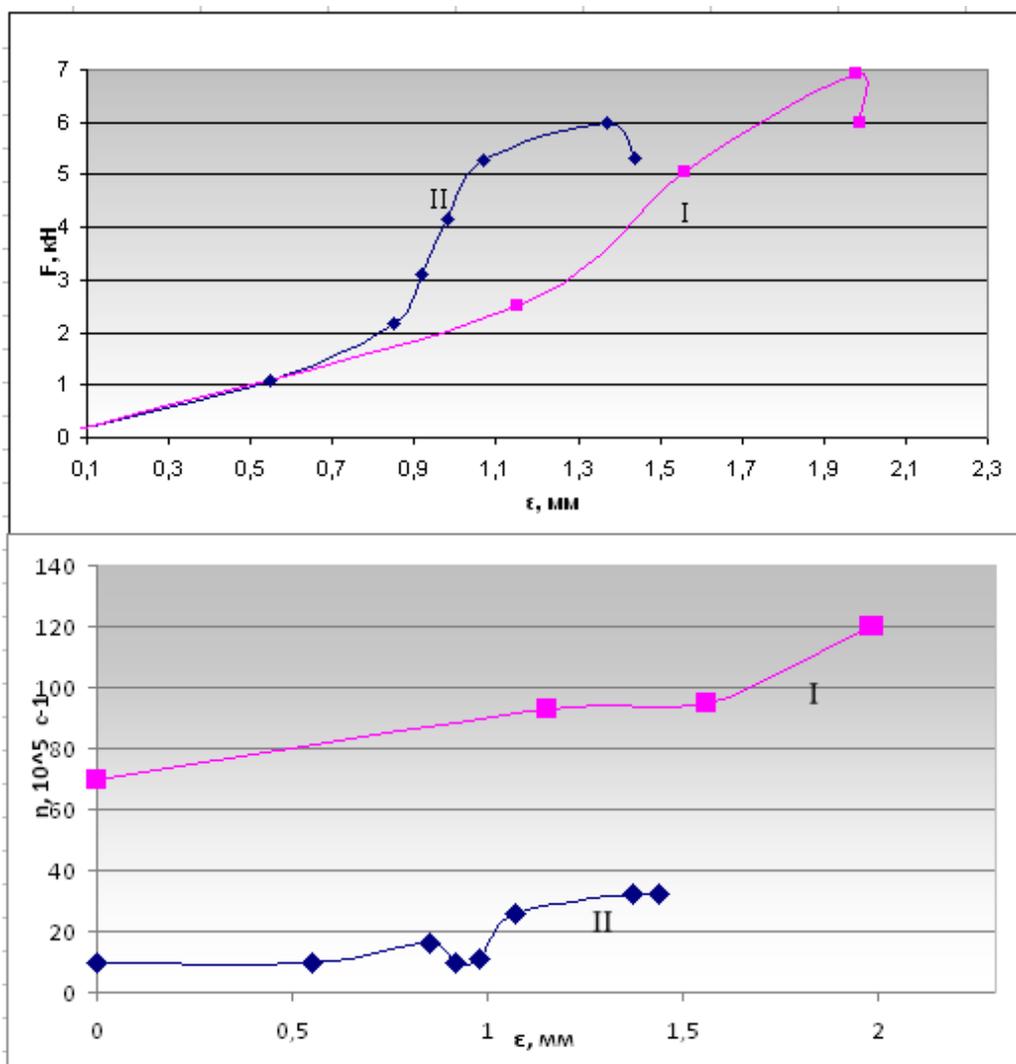
1 – образец из асфальтобетона, 2 – пресс гидравлический, 3 – пьезодатчик, 4 – АЭ комплекс

Рисунок 1. – Внешний вид экспериментального оборудования

В качестве нежестких дорожных покрытий были исследованы лабораторные образцы асфальтобетона цилиндрической формы диаметром 7 мм и высотой 10 мм. Одни образцы находи-

лись в естественных нормально-влажностных условиях (с исключением агрессивного влияния солевого воздействия на бетон), и другие - погруженные на 6 месяцев в солевом растворе (5% -ом растворе NaCl). Целью эксперимента являлось выявление закономерностей изменения свойств асфальтобетона в агрессивной среде. При лабораторных испытаниях запускались две программы: одна для регистрации параметров сигналов АЭ и вторая - для регистрации механических величин. Для испытаний были использованы установка, представленная на рисунке 1.

Параметры активности АЭ, т.е. числа импульсов в единицу времени, в образце, находившемся в нормальных условиях намного выше, чем в образце, находившемся в хлоридной среде, т.е. в данном случае ионы  $Cl^-$  уменьшили интенсивность сигналов АЭ. Хлоридная среда в асфальтобетоне вызывает меньшую активность акустических сигналов. Также прочностные характеристики показали, что агрессивная среда снижает эксплуатационные характеристики дорожного покрытия. При увеличении локального напряжения до величины, превосходящей предел прочности материала, наблюдается резкое увеличение активности сигналов АЭ (рисунок 2).



а) – зависимость разрушающей силы  $F$  от относительной деформации  $\epsilon$ ;  
 б) – зависимость активности АЭ от деформации  $\epsilon$

Рисунок 2. – Взаимосвязь между прочностными и АЭ характеристиками лабораторных образцов асфальтобетона в естественных условиях (I) и пребывавшего в 5% -ом растворе NaCl (II)

Поэтому, когда напряжение в образцах приближается к исчерпывающему ресурсу материала, то начинается резкий рост числа импульсов. Учитывая вышесказанное, можно заключить, что экспериментальный комплекс, представленный выше, дает возможность определять эксплуатационные характеристики асфальтобетонных конструкций под действием внутренних (коррозия) и внешних (механическая нагрузка) напряжениях.

Также были исследованы образцы эксплуатируемого дорожного полотна (возрастом менее 3 лет) цилиндрической формы диаметром 150 мм и высотой 145 мм. Эксперимент проводился аналогичным испытаниям для лабораторных образцов из асфальтобетона. Зависимости напряженно-деформационных характеристик между лабораторными и уже эксплуатируемыми образцами значительно не отличается. Активность же АЭ между этими образцами различна. Так, в лабораторных образцах количество импульсов не меняется до момента потери эксплуатационных характеристик объекта, а в образцах эксплуатируемого дорожного покрытия можно выделить несколько областей. Активность АЭ вначале нагружения образца имеет более высокие показатели, чем при дальнейшем его нагружении. После чего только при критических значениях для образца происходит резкое увеличение числа импульсов.

Сравнивая лабораторные образцы из асфальтобетона, можно сделать вывод о том, что активность АЭ в образцах, поврежденных коррозией ниже в среднем в 7 раз, это связано с изменением внутренней структуры материала, и как следствие, затуханием звуковых волн. В образцах из асфальтобетона дорожного полотна активность АЭ на начальной стадии нагружения увеличилась в 3 раза, после чего имела устойчивый характер, и уже при переходе к критическому состоянию изменилась на 50 %.

**Апробация возможности моделирования оценки упругих свойств образца по схеме «бразильского теста».** Помимо испытаний на сжатие асфальтобетонных образцов, нами были проделаны эксперименты по определению прочности образцов на растяжение с помощью компьютерного моделирования. Бразильский метод заключается в том, что прочность материала на растяжение определяется из испытания цилиндрического образца на сжатие в диаметральной плоскости равномерно распределенной вдоль образующей нагрузкой, передаваемой ребром треугольной призмы [10]. Расчёт производился в пакете ANSYS Mechanical версии 16.2, который верифицирован для проведения подобных вычислений [12, 13]. Пакет использует численный метод конечных элементов (МКЭ).

Образец имел форму диска диаметром 150 мм и толщиной 20 мм. Материал образца считался изотропным и абсолютно упругим, модуль упругости был принят за 300 МПа, коэффициент Пуассона – 0,3. Такое значение было выбрано, как одно из возможных для асфальтобетона разных плотностей и температур при статической нагрузке.

Образец в модели был помещён между двух параллельных штампов в форме плоско-параллельных пластин из конструкционной стали (стандартный материал пакета ANSYS, модуль Юнга равен 200 ГПа). Механическая нагрузка образца производилось кинематически – верхний штамп сдвигался на величину 2 мм по направлению к нижнему штампу, вдоль диаметра диска. Схема схожа с представленной в работе [14].

Решение линейной упругой задачи осуществлялось методом Ньютона-Рафсона с достижением равновесия на каждом шаге вычисления. Сеточное разбиение образца для вычислений МКЭ производилось программой автоматически, исходя из геометрии задачи. Достигалась сходимость 20% для механического напряжения при уменьшении элемента разбиения. Некоторые результаты моделирования представлены на рисунке 3.

Представленная модель демонстрирует возможность проведения подобных вычислений, однако она требует дальнейшей доработки с целью увеличения точности расчётов. Для

этого её параметры необходимо согласовать с результатами натуральных экспериментов, а также провести оптимизации для снижения времени вычислений. В случае разработки точной вычислительной модели, её использование позволит упростить оценку прочностных свойств строительных материалов.

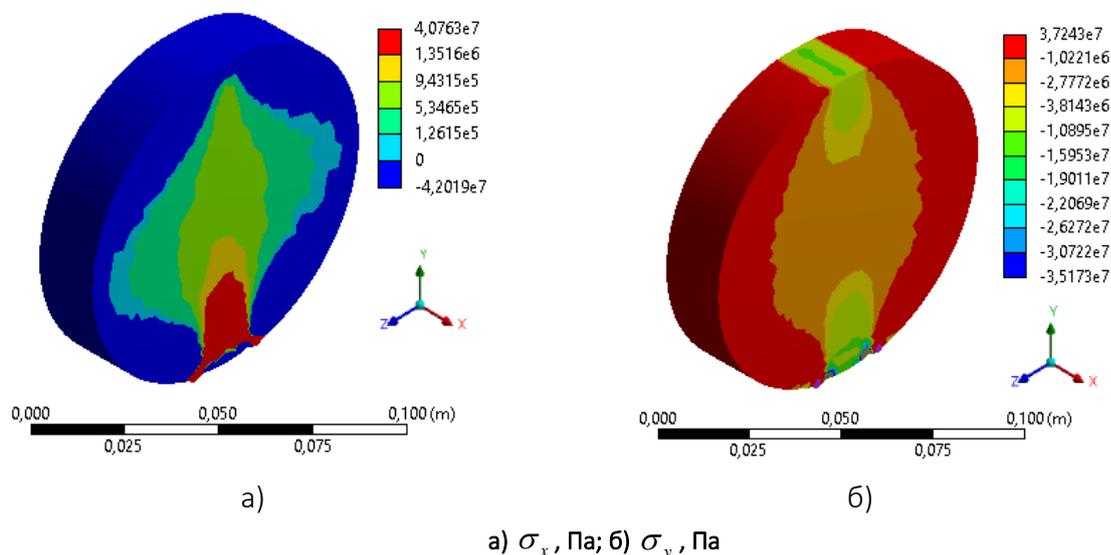


Рисунок 3. – Изоповерхности компоненты напряжения

**Выводы.** Использование программного пакета ANSYS Mechanical для определения прочности асфальтобетонных образцов на растяжение по схеме «бразильского теста» позволит упростить оценку прочностных свойств строительных материалов, что послужит дальнейшей работой в этой области. Также метод акустической эмиссии позволяет определить параметры эксплуатационных и предельных напряженно-деформированных состояний дорожных покрытий при силовых и коррозионных воздействиях. Опираясь на приведенные исследования, возникает возможность использовать метод акустической эмиссии в качестве сопровождения асфальтобетонных объектов, выражающаяся в получении информации о возникновении и развитии опасных состояний в режиме реального времени, а также определении ресурса на любой стадии эксплуатации. Как структурно чувствительный метод акустическая эмиссия обеспечивает обнаружение процессов пластической деформации, собственно разрушения и фазовых переходов. Указанные свойства акустико-эмиссионного метода дают возможность формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки технического состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на прочность и работоспособность объекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мелик-Багдасаров М.С., Гиоев К.А., Мелик-Багдасарова Н.А. Строительство и ремонт дорожных асфальтобетонных покрытий: учеб. пособие / Мелик-Багдасаров М.С., Гиоев К.А., Мелик-Багдасарова Н.А. – Белгород, 2007.
2. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / Руденский А.В.- М.: Транспорт, 1992.- 254 с.
3. ГОСТ Р 52727—2007 Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования.
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. Aggelis D.G., Polyzos D., Philippidis T.P. Wave dispersion and attenuation in fresh mortar: theoretical predictions vs. experimental results / Aggelis D.G., Polyzos D., Philippidis T.P. // Journal of the Mechanics and Physics of solids 2005. – P. 857–883.
8. Koen VAN DEN ABEELE, Geert DE SCHUTTER, Martine WEVERS. Non Destructive Online Evaluation of Concrete Hardening Using Acoustic Emission and Harmonic Wave/. Koen VAN DEN ABEELE, Geert DE SCHUTTER, Martine WEVERS // Spectroscopy, 2006. – P. 1–9.
9. Rustem Gul, Ramazan Demirboga, Tekin Guvercin. Compressive strength and ultrasound pulse velocity of mineral admixture mortars / Rustem Gul, Ramazan Demirboga, Tekin Guvercin // Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, v. 13, 2006. – P. 18–24.
10. Молотников В.Я., Молотникова А.А. Замечания к бразильскому методу исследования прочности хрупких материалов на растяжение / Молотников В.Я., Молотникова А.А. // Вестник ДГТУ. 2014. Т. 14, № 4 (79), С. 30-38.
11. Шабанов Д.Н., Ягубкин А.Н., Боровкова Е.С. Мониторинг уровней динамики структурообразования цементного камня методом акустической эмиссии и прогнозирование ресурса на его этапах твердения / Шабанов Д.Н., Ягубкин А.Н., Боровкова Е.С. // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс]: электронный сборник статей II международной научной конференции, Полоц. гос. ун-т, 2020. - С. 272 – 279.
12. Release 16.2 Documentation for ANSYS [electronic document] / ANSYS Inc. Electronic data and software.
13. Sutton M.A., Orteu J.J., Schreier H.Y. Image correlation for shape, motion and deformation measurements: basic concepts, theory and applications / Sutton M.A., Orteu J.J., Schreier H.Y. – Springer. 2009. – 321 p.
14. Goltsev V.Yu., Osintsev A.V, Plotnikov A.S. Application of a disk specimen loaded according to the "Brazilian test" for evaluating the brittle strength of materials of non-geological origin / V.Yu. Goltsev, A.V. Osintsev, A.S. Plotnikov. Letters on materials 7 (1), 2017.- P. 21-25.

УДК 691.14

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ

*О.О. Латушко<sup>1</sup>, Д.Н. Шабанов*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> o.latushko@psu.by

*В статье рассматриваются акустические характеристики звукоизолирующих преград в зависимости от строительного материала на примере исследования звукоизолирующих свойств изделий из гофрированного картона.*

**Ключевые слова:** акустика, звукопоглощение, звукоизоляция, строительные материалы, гофрированный картон.

## ON THE ISSUE OF DETERMINING THE SOUND-INSULATING PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS USING AN ACOUSTIC CHAMBER

*O. Latushko<sup>1</sup>, D. Shabanov*

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> o.latushko@psu.by

*The article discusses the acoustic characteristics of sound-proofing barriers depending on the building material on the example of the study of the sound-proofing properties of corrugated cardboard products.*

**Keywords:** acoustics, sound absorption, sound insulation, building materials, corrugated cardboard, corrugated cardboard.

В современном мире человек постоянно подвергается воздействию шума. Это происходит дома, на рабочем месте, в местах отдыха, на транспорте и в других условиях. Наружные и внутренние ограждения квартир, служебных и рабочих помещений зачастую не обеспечивают требуемую шумозащиту. Поэтому обеспечение акустического комфорта в среде обитания человека является важнейшей задачей при проектировании и строительстве гражданских, жилых и промышленных зданий. Одним из наиболее эффективных средств снижения воздействия воздушного шума является устройство на пути его распространения звукоизолирующих преград в виде стен, перегородок, перекрытий, экранов и т.д.

Звукоизоляция – это способность ограждающей конструкции ослаблять энергию звуковых волн при ее прохождении через нее.

Проектирование звукоизолирующих преград следует вести на основании акустического расчета изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями. Для этого необходимо знать частотную характеристику звукоизоляции ограждающих конструкций, которую можно установить путем экспериментальных исследований в натуральных или лабораторных условиях или построить теоретическими способами [1].

Звукоизолирующие преграды, устанавливаемые на пути распространения шума, могут достаточно надежно защищать от него места пребывания человека. Известно, что чем массивнее ограждение, тем лучше оно изолирует помещение от шума, однако требование рационального расхода

вания материальных ресурсов диктует необходимость более полного использования их звукоизоляционных свойств. Поэтому современное проектирование звукоизоляции направлено на обеспечение требуемых акустических условий в помещениях за счет регулируемой звукоизоляции ограждений при минимально возможной их массе. Часто собственная звукоизоляция ограждения снижается вследствие наличия в ограждении щелей и отверстий, а также за счет передачи энергии по смежным конструкциям косвенными путями. Тем более необходимо точнее оценивать степень передачи звуковой энергии непосредственно через ограждение прямым путем [2].

Акустические характеристики звукоизолирующих преград в первую очередь зависят от выбора материала.

Акустические материалы по своему функциональному назначению подразделяются на следующие виды:

- звукопоглощающие материалы, предназначенные для гашения воздушных шумов и регулирования акустических характеристик помещений;
- звукоизоляционные материалы, применяемые в качестве прокладок под плавающими полами и в многослойных ограждающих конструкциях для изоляции ограждений от ударных и воздушных звуков;
- вибропоглощающие материалы, предназначенные для изгибных колебаний, распространяющимся по жестким (преимущественно тонким) конструкциям, для снижения излучаемого ими шума [3].

Звукопоглощающие материалы должны обладать большой пористостью и декоративностью, малой гигроскопичностью, огне- и биостойкостью.

Звукоизоляционные материалы, предназначенные для изоляции от воздушного шума, широко используются при создании различных строительных конструкций. Уменьшение уровня воздушного шума осуществляется возведением стен, перегородок, перекрытий. В общем случае, звукоизоляционная способность ограждений пропорциональна логарифму массы конструкции. Поэтому массивные конструкции обладают большей звукоизоляционной способностью от воздушного шума, чем лёгкие. Поскольку устройство тяжёлых ограждений экономически нецелесообразно, надлежащую звукоизоляцию обеспечивают возведением двух- или трёхслойных ограждений, часто с воздушными зазорами, которые рекомендуется наполнять пористыми звукопоглощающими материалами. Желательно, чтобы конструктивные слои имели различную жёсткость и герметичность, так как это способствует повышению степени звукоизоляции [5].

Акустические материалы в зависимости от назначения представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Применение акустических материалов [4]

Назначение	Применяемые материалы
Звукопоглощающие	Плиты гипсовые, минераловатные, асбестоцементные, двухслойные из ДВП с перфорированной декоративной и рельефной поверхностью; плиты минерало- и стекловатные на полимерном связующем с облицовкой из металлических и пластиковых перфорированных листовых материалов; акустические панели на основе минеральных волокон с рулонным декоративным покрытием; монолитные покрытия из акустических бетонов и растворов на пористых заполнителях и декоративных цементах.
Звукоизоляционные	Плиты мягкие ДВП, картон асбестовый; рулонные материалы (маты, прокладки) на основе минеральных волокон, натуральной пробки, пенополиэтилена, пенополистирола, пенополиуретана, полиэстера, синтепона; линолеумы на звукоизоляционной основе.

Для изучения акустических характеристик были выбраны следующие материалы – трёхслойный, с гофром А: Картон Т А ГОСТ Р 52901-2007.

При помощи этого материала были созданы опытные образцы:

1. Панель из картона гофрированного 490x490x40мм с параллельно расположенными планками и планками под углом 45° (рисунок 1, 2.)



Рисунок 1. – Панель из картона гофрированного. Вид сбоку



Рисунок 2. – Панель из листов картона гофрированного. Вид сверху

2. Панель из картона гофрированного 490x490x40мм склеенная из полосок размерами 490x40мм с поперечным расположением гофры (рисунок 3, 4.)



Рисунок 3. – Панель из картона гофрированного. Вид сбоку



Рисунок 4. – Панель из листов картона гофрированного. Вид сверху

Испытания образцов проводились в акустической камере.

Данная установка позволяет изучать распространение звуковых волн и экспериментально определять акустические характеристики различных строительных материалов. К ним можно отнести коэффициенты звукопоглощения, звукоотражения, звукопропускания, и на основании полученных данных при проведении опытов, рассчитывать индекс звукоизоляции воздушного шума [6].

Акустическая камера представляет собой деревянный корпус, изготовленный из фанеры толщиной 12 мм. Внутренняя поверхность камеры отделана звукопоглощающим материалом, для устранения паразитных пере отражений звуковых волн. С этой целью использовался войлочный материал. Для крепления исследуемого образца, в центре, поперек камеры имеется специальный паз. Плотное прилегание пластины с образцом к нему обеспечивается тремя дисковыми замками.

Для удобства транспортировки с торца камеры предусмотрены ручки. Кроме этого на крышке также имеются ручки. Все стыки в корпусе акустической камеры проклеены, для обеспечения герметичности. На крышке по периметру, с этой же целью имеется полоса из мягкой пористой резины. Для придания эксплуатационных свойств камера покрыта лаком [7].

Внешний вид акустической камеры представлен на рисунке 5.



Рисунок 5. – Внешний вид акустической камеры изнутри [6]

Для проведения экспериментов в камеру установлено звуковоспроизводящее и принимающее оборудование. В качестве источника звука используется динамическая головка мощностью 2 ватта. Для обеспечения максимального затухания вибрации источника звука с камерой динамическая головка помещена в каркас из пористого мягкого материала, основание которого имеет минимальную площадь соприкосновения с дном камеры. Вся звукоизлучаю-

щая конструкция установлена на песочную подушку [8]. Сигнал подавался на протяжении 2-х секунд.

В качестве приемника звука используется комплект оборудования EinsteinLabMate. Он состоит из микрофона и базовой станции. Микрофон устанавливается в акустическую камеру на подставку из того же материала, что и динамическая головка. Соединение с базовой станцией осуществляется посредством кабеля через отверстие в корпусе акустической камеры [6].

Комплект EinsteinLabMate, позволяет передавать данные на персональный компьютер. Программное обеспечение позволяет в режиме реального времени отображать зависимость изменения уровня звука (дБ) от времени (с) в виде графика, представленном на рисунке 6. При этом имеется выбор времени измерения и частоты дискретизации [6].

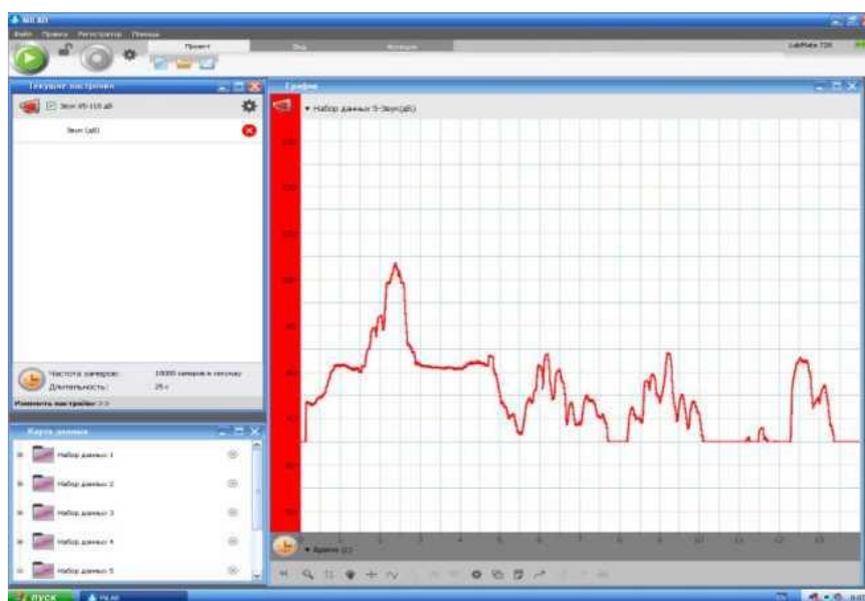


Рисунок 6. – Интерфейс программы EinsteinLabMate [6]

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления  $L$ , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц и уровень звука  $LA$  ( $LA, экв$ ), дБА. Превышение одного из этих уровней считается несоответствием требованиям к допустимому уровню шума [8].

Допустимые значения октавных уровней звукового давления  $L_{доп}$ , дБ, уровней звука  $LA$ , дБА, эквивалентных уровней звука  $LA, экв$ , дБА, и максимальных уровней звука  $LA, макс$ , дБА, проникающего шума в помещения жилых и общественных зданий и на их территории, на рабочих местах в производственных и вспомогательных зданиях, на площадках производственных предприятий следует принимать в соответствии с таблицей 6.1. СН 2.04.01-2020[8].

Для эксперимента мы проведем сравнение уровней звукового давления  $L_{доп}$ , дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 гц для жилых помещений жилых зданий категории А, для времени суток с 7.00 до 23.00 часов, данные значения соответствуют графика на рисунке 7.

Подготовленные образцы исследуемых материалов поочередно помещались в акустическую камеру.

После проведения эксперимента были получены следующие данные с усредненными значениями уровня шума для 2-х секундного промежутка времени в течении которого производились замеры (рисунок 8-9).

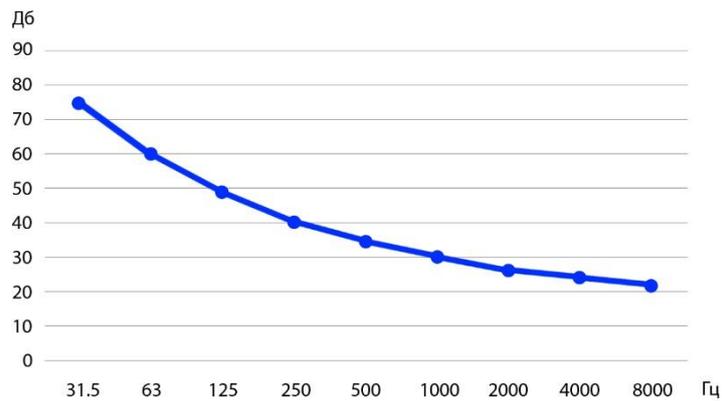


Рисунок 7. – Уровень звукового давления  $L_{доп}$ , дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц для жилых помещений жилых зданий категории А, для времени суток с 7.00 до 23.00 часов

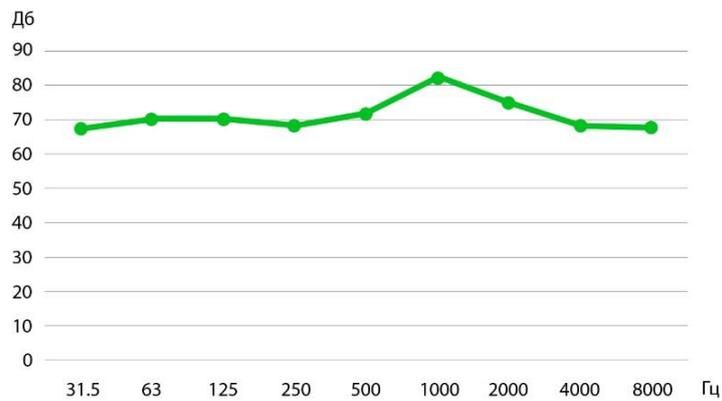


Рисунок 8. – Средние значения уровня шума в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц для панели из картона гофрированного 490х490х40мм с параллельно расположенными планками и планками под углом 45°

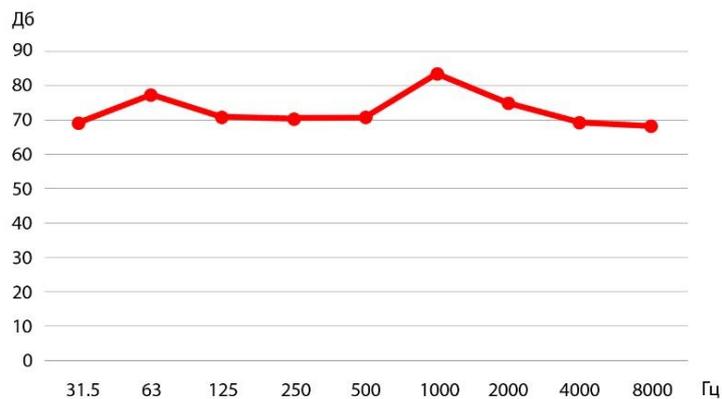
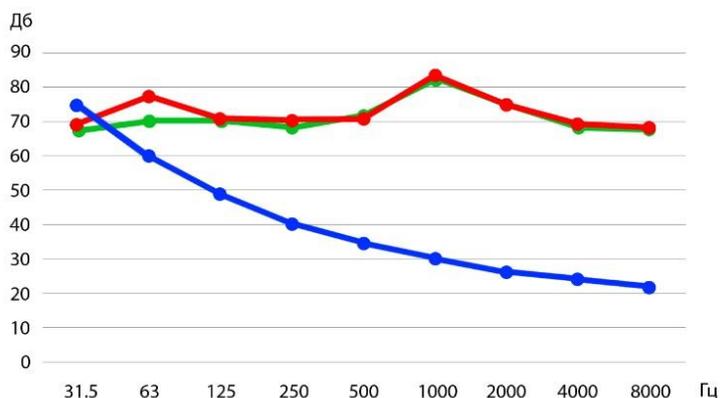


Рисунок 9. – Средние значения уровня шума в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц для панели из картона гофрированного 490х490х40мм склеенная из полосок размерами 490х40мм с поперечным расположением гофры

Как видно из сводного графика на рисунке 10 испытываемые образцы не соответствуют нормируемым параметрами постоянного шума, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц для жилых помещений жилых зданий категории А, для времени суток с 7.00 до 23.00 часов, практически на всех частотах кроме 31.5 Гц.



**Рисунок 10. – Сравнение значений уровня шума в Дб в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц для панели из картона гофрированного 490х490х40мм с параллельно расположенными планками и планками под углом 45°, для панели из картона гофрированного 490х490х40мм склеенной из полосок размерами 490х40мм с поперечным расположением гофры и нормируемым уровнем шума**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Изоляция воздушного шума однослойными ограждающими конструкциями: учеб. пособие. В.Н. Бобылев, В.А. Тишков, Д.В. Монич. – Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ. – 2014. – 67 с.
2. Звукоизоляция и звукопоглощение: Учеб, пособие для студентов вузов. - Л.Г. Осипов, В.Н. Бобылев, Л.А. Борисов и др.; Под ред. Г.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. — М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2004. - 450. - 14 с.
3. Результаты сравнительного анализа акустических свойств строительных материалов / Смирнова Е. В., Васюткина Д. И. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. -2013. - №1.
4. Строительные материалы: Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-70 02 01, 1-70 04 02, 1-70 04 03 заочной и дистанционной формы обучения. - Киреева Ю.И., Лазаренко О.В. – Новополец: ПГУ. – 2005. – 384 с.
5. Оценка перспективных направлений проведения исследований в области создания новых материалов с акустическими свойствами. - С.Г. Седунов, М.П. Ступникова, К.А. Тараскин. – ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной акустики»; - Московская область.
6. Панин И.Р., Сачивко А.С., Боровкова Е.С., Сравнительный анализ акустических характеристик строительных материалов / Сборник научных работ студентов республики Беларусь «НИРС – 2019» - Минск, изд. центр БГУ 2020. - 147 с.
7. Хлебкович Е.А., Шуранов Д.А., Боровкова Е.С., Русецкий И.С. Измерение звукоизолирующих свойств листовых материалов с помощью акустической камеры/ Сборник научных работ студентов республики Беларусь «НИРС - 2017» - Минск, изд. центр БГУ 2018. - 146 - 147 с.
8. СН 2.04.01-2020 Защита от шума. Минск 2020. -48 с.

## Секция IV

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ  
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 621.18.01

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЛОВ СЕРИИ ПТВМ

П.М. Гламаздин<sup>1</sup>, Д.П. Гламаздин<sup>2</sup>

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

e-mail: <sup>1</sup> [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), <sup>2</sup> [glamazdin@bay-boiler.de](mailto:glamazdin@bay-boiler.de)

*Источники теплоты централизованных систем теплоснабжения городов Украины нуждаются в обновлении теплогенерирующего оборудования. При этом подход к обновлению этого оборудования должен зависеть от мощности котлов – котлы малой мощности подлежат замене на современные новые котлы, но котлы большой мощности, в частности серии ПТВМ, предпочтительнее подвергнуть глубокой модернизации в связи с большой стоимостью их замены. Предлагается новая концепция их модернизации, позволяющая увеличить их КПД, снизить вредные выбросы и расширить диапазон регулирования нагрузки.*

**Ключевые слова:** централизованное теплоснабжение, отопительная котельная, водогрейный котел, модернизация котла.

## ENERGY-EFFICIENT MODERNIZATION OF PTVM SERIES BOILERS

P. Glamazdin<sup>1</sup>, D. Glamazdin<sup>2</sup>

Kiev National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

e-mail: <sup>1</sup> [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), <sup>2</sup> [glamazdin@bay-boiler.de](mailto:glamazdin@bay-boiler.de)

*The heat sources of the centralized heat supply systems of the cities of Ukraine need to update the heat generating equipment. At the same time, the approach to updating this equipment should depend on the capacity of boilers – low-power boilers are subject to replacement with modern new boilers, but high-power boilers, in particular the PTVM series, are preferable to undergo a deep modernization due to the high cost of their replacement. A new concept of their modernization is proposed, which allows to increase their efficiency, reduce harmful emissions and expand the range of load regulation.*

**Keywords:** centralized heat supply, heating boiler house, hot water boiler, boiler modernization.

**Введение.** Системы централизованного теплоснабжения в городах Украины находятся в состоянии глубокого кризиса. Не вдаваясь в анализ причин возникновения этого кризиса, необходимо отметить, что источники теплоты для систем централизованного теплоснабжения, как их неотъемлемая часть, также находится в таком состоянии, что требуют реконструкции и модернизации. При разработке концепции реконструкции или модернизации отопительных котельных с водогрейными котлами необходимо учитывать несколько факторов.

Большинство котельных было спроектировано и построено сорок и более лет назад. Соответственно, установленное в то время оборудование уже давно отработало паспортный срок эксплуатации и требует замены [1]. При подборе нового оборудования для замены отработавшего свой срок необходимо учитывать, что проекты котельных обычно рассчитывались на определенное увеличение подключенной нагрузки. Реально этого не произошло. Более того, сегодня наблюдается падение нагрузки на существующие котельные по нескольким причинам. Очень значительное снижение нагрузки произошло в результате массового отключения производственных предприятий, которые либо закрылись, либо перешли на теплоснабжение от собственных источников [2]. Кроме того, в последние годы наблюдается переход больниц и многих общественных учреждений и учебных заведений на автономное теплоснабжение [3], что очевидно ведет к дальнейшему снижению нагрузки на котельные. Очень резко упала нагрузка на централизованное горячее водоснабжение – в некоторых городах произошло падение этой нагрузки в пять и более раз [2]. Термосанация зданий также ведет к снижению нагрузки на котельные. Анализ влияния термомодернизации на уменьшение нагрузки котельных показал, что уже в настоящее время в результате еще не полной замены окон на современные стеклопакеты и частичного утепления фасадов уже имеет место уменьшение нагрузки в зависимости от типов зданий жилого фонда на 11 – 17%, а при полной термомодернизации жилого фонда, включающую термосанацию ограждающих конструкций и модернизацию внутренних инженерных систем с автоматизацией абонентских вводов приведет к уменьшению этой нагрузки на 45 – 50% [4]. Безусловно, эти процессы необходимо учитывать при разработке концепций реконструкции и модернизации отопительных котельных, а именно при выборе мощности нового оборудования, предлагаемого на замену существующего.

Постоянный рост стоимости энергоносителей требует выбирать новое оборудование с минимальным удельным расходом энергоносителей при его эксплуатации.

Очень серьезное ужесточение экологических норм, произошедшее за последние годы, обуславливает выбор соответствующего теплогенерирующего оборудования с минимально возможными выбросами вредных веществ в атмосферу.

**Основная часть.** Приведенные требования, которые необходимо учитывать при разработке концепции реконструкции или модернизации отопительной котельной, с учетом финансовых потребностей на реализацию подобных мероприятий позволяют делать вывод о том, что полная замена оборудования может быть осуществлена с приемлемыми финансовыми затратами только для котельных групповых, с маломощными котлами старых серий (НИИ-СТу и подобными) с большими удельными затратами энергоносителей.

Уже для квартальных котельных при выборе реконструкции или модернизации речь должна идти о предварительной разработке технико-экономического обоснования, которое должно показать, что выгоднее – замена котлов или их модернизация, как это описано, например, в [5]. Для районных котельных с котлами единичной мощностью от 10 МВт (кроме возможно паровых котлов серии ДКВР в водогрейном режиме), предпочтительнее будет модернизация котлов с заменой горелок, обмуровки и автоматики.

При этом, если модернизация котлов серии КВГМ с малым количеством горелок не вызывает особых затруднений, то модернизация котлов серии ПТВМ, (особенно большой мощности - 58, 116, 209 МВт) представляет сложную инженерную задачу. Изначально, этим котлам присущ ряд недостатков [6]: теплопроизводительность зависит от погодных условий, отсутствие дымососа делает практически невозможным поддержание на постоянном уровне разрежение в топке, высокая минимально допустимая эксплуатационная мощность котлов, большое количество горелок усложняет регулирование нагрузки и обслуживание котлов. Естественно, в силу этих особенностей

они не удовлетворяют сегодняшним требованиям к экологическим показателям и к величине удельного расхода топлива. Замена котлов серии ПТВМ на новые котлы, например, серии КВГМ аналогичной мощности, представляется финансово неподъемной задачей для теплогенерирующих компаний в Украине. Соответственно, приходится рассматривать варианты модернизации котлов этих серий. Опыт модернизации котлов имеется как в странах Восточной Европы, так и на постсоветском пространстве. Он изучен авторами и обобщён в [7,8]. В подавляющем большинстве случаев в процессе модернизации была проведена реконструкция конвективной части с выносом её в традиционную вертикальную шахту. При этом котлы оснащались дымососом. Иногда реконструкция включала увеличение площади поверхностей нагрева с соответствующим увеличением мощности котла. Основной же целью модернизации являлось снижение вредных выбросов в атмосферу, что диктовалось жёсткими требованиями Европейского Союза, которые приходилось выполнять странам Восточной Европы и Прибалтики в качестве одного из условий их принятия в ЕС. В процессе модернизации этих котлов, кроме устройства дымососа, приходится решать проблему наличия в них большого количества горелок. Эта проблема решалась по-разному: в основном путём уменьшения их количества с увеличением единичной мощности и использовании горелок LowNO<sub>x</sub>, хотя в отдельных случаях количество горелок оставалось прежним, но устраивалась система рециркуляции продуктов сгорания в топку котла. Технические решения по установке новых горелок принимались разными, - либо на фронтально стенке котла в два яруса, либо на боковых стенках также в два яруса, но с наклоном факела в сторону пода котла. Необходимо отметить, что, добиваясь выполнения экологических нормативов, проектировщики не очень были озабочены возможным снижением удельного расхода топлива. Между тем, исследования, проводимые ещё в советский период в ВТИ и ЭНИНе по влиянию расположения горелок в топке котла и его энергетическую и экологическую эффективность, позволили сделать вывод о том, что оптимальным (с точки зрения энергоэффективности) для водогрейных отопительных котлов, работающих при постоянно изменяющихся нагрузках, обусловленных климатическими факторами и переменной нагрузкой на горячее водоснабжение расположением горелок будет их расположение в своде или в поду котла [9]. Имеются реализованные подобные технологические решения. В венгерском городе Секешфехервар в городской котельной буквально рядом стоят два модернизированных котла ПТВМ-30. В первом случае в поду расположена одна горелка большой мощности, а в другом по диагонали пода расположены три горелки. Оба решения оказались не оптимальными. В первом случае при приближении к номинальному режиму факел «лизал» поверхности нагрева на фронтальной и задней стенках топки, а во втором примере не удалось создать более-менее равномерное температурное поле в топке. Котлы ПТВМ-30 имеют прямоугольную топку с соотношением длины сторон примерно два к одному. Поэтому оптимальным вариантом является вариант с двумя горелками в поду. Такой котёл работает в Виннице уже восемь лет без каких-либо проблем [10,11]. Для котлов серии ПТВМ большей мощности, имеется опыт установки одной горелки в поду котла ПТВМ-50. При этом пришлось под котлом выполнить углубление глубиной 3 м с нарушением норм безопасности в газовом хозяйстве. Опыт оказался негативным.

Анализ конструкции топок котлов ПТВМ-50,100,180 показывает, что при их геометрии, близкой в горизонтальной проекции к квадрату, наилучшим решением будет устройство посередине топки двухсветного экрана, делящего общий объем топки на два отдельных. При этом отдельные объемы в горизонтальной проекции будут близкими к прямоугольным с соотношением сторон два к одному. Отсюда вытекает решение об установке в поду четырёх горелок по две горелки для каждого из полученных устройством посередине топки двухсветного экрана разделённых объемов. При таком размещении горелок котлы можно эксплуатировать

в двух диапазонах по мощности - либо при полной мощности на всех четырех горелках, либо при половинной мощности при отключении двух горелок. Естественно, при отключении двух горелок нижняя граница диапазона нагрузок также снижается. Для такой организации процессов в топке конвективную часть желателенно разделить и устроить две отдельные конвективные шахты с отдельными дымососами для исключения конденсационного режима при работе двух горелок на общую конвективную часть.

**Заключение.** Тепловой расчет котлов ПТВМ-50 и ПТВМ-100 в такой компоновке, проведенный согласно Нормативному методу «Тепловой расчёт котельных агрегатов» в редакции 1973 г., показал возможность увеличения мощности котлов на 25-30 % в зависимости от принятых конструктивных решений с возможным повышением ККД котлов до 94 % и снижением выбросов до норм, принятых в Европейском союзе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Статистика енергетики за 2017 рік. Державна служба статистики України. URL: [http://ukr-stat.gov.ua/operativ/infograficka/2019/energy 2017.pdf](http://ukr-stat.gov.ua/operativ/infograficka/2019/energy%202017.pdf).
2. Степаненко В., Безпека в централізованому тепlopостачанні в містах України // [Електронний ресурс] / <https://energy-security.org.ua/2020/02/bezopasnost-v-czentralyzovannom-teplosnabzheny-ygo%C2%ACrodah%20ukrayn%D1%8B/>.
3. Never Duis, Goran Kzajacic, Nikola Matak, Brajan Vad Mathisen, District heating and 4DH in Central and Easten Europe 4th international conference and sunart energy systems at 4th Generation district heating/Halborg/13-14 November 2018.
4. Гламаздин П.М., Гламаздин Д.П., Швачко Н.А. Вплив термомодернізації житлових будинків на роботу опалювальних котельень централізованого тепlopостачання. Energy efficiency in civil engeering and architecture, К: 2010, № 14, с. 48-63.
5. Гламаздин П.М., Гламаздин Д.П. / Энергоефективна модернізація котлів КВГ та ТВГ. Науково-технічний збірник: Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. К.: КНУБА. Випуск №26, 2020, с. 22-36.
6. Бузников Е.Ф., Сидоров В.Н. Водогрейные котлы и их применение на электростанциях и в котельных М.Л: Энергия, 1965, с. 240.
7. Гламаздин П.М., Гламаздин Д.П., Ярмольчик Ю.П. Экологические аспекты модернизации котлов большой мощности. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Том 59, №3 (2016) с. 249-259.
8. Гламаздин П.М., Гламаздин Д.П. Модернізація водотрубних водогрійних котлів опалювальних котельень систем централізованого тепlopостачання для підвищення їх екологічних характеристик. В монографії ERBE DER EUROPAISHEN WISSENSCHAFT, Book 2. Part 1. Chapter 3, p. 44-59.
9. П.М. Гламаздин, Гламаздин Д.П., Шварценбергер Р, Перспективні конструкції водогрійних котлів великої великої потужності для систем централізованого тепlopостачання. / Энергоефективність в будівництві та архітектурі / 2019 / Випуск 12 , с. 85-94.
10. Гламаздин П.М. Досвід модернізації водогрійних котлів ПТВМ-30 / П.М. Гламаздин, Д.П. Гламаздин // Житлово-комунальне господарство України, 2012, №9 (52), с. 59-61.
11. П.М. Гламаздин, Гламаздин Д.П., Молодід А.В., Результати модернізації водогрійних котлів ПТВМ-30. Житлово-комунальне господарство України. 2013, №8 (61), с. 18-19.

УДК 699.887.32

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

*И.И. Мельянцова, Т.С. Самолыго*

Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь

e-mail: melyashka88@gmail.com

*Рассмотрены проблемы экологической безопасности жилых и общественных зданий, основывающихся на обеспечении прогнозирования и защиты внутренних помещений от радиационных и токсических воздействий. Описаны возможные виды загрязнений. При этом обращается особое внимание на комплексный подход в процессе выбора материалов, места застройки, а также качество производства работ, которые будут оказывать влияние на экологичность помещений жилых и общественных зданий.*

*Ключевые слова:* строительство, строительные материалы, радиационная безопасность, радон, токсические воздействия.

## PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS

*I. Melyantsova, T. Samolygo*

Belarusian-Russian University, Republic of Belarus

e-mail: melyashka88@gmail.com

*The problems of ecological safety of residential and public buildings, based on the provision of forecasting and protection of internal premises from radiation and toxic effects, are considered. Possible types of contamination are described. At the same time, special attention is paid to an integrated approach in the process of selecting materials, building sites, as well as the quality of work that will affect the environmental friendliness of residential and public buildings.*

*Keywords:* construction, building materials, radiation safety, radon, toxic effects

**Введение.** Важнейшей составляющей жизнедеятельности человека является обеспечение экологической безопасности внутренних помещений жилых и общественных зданий. Совместный вклад природных источников ионизирующих излучений и токсических воздействий в последствия, негативно сказывающихся на здоровье людей, обуславливает необходимость более детально рассмотреть этот вопрос. Исследования в различных странах показали, что этот вклад является существенным и в значительной степени зависит от деятельности человека. Для комплексной оценки экологичности внутренних помещений жилых и общественных зданий необходимо определить места формирования естественных ионизирующих излучений, проникновение и содержание их в строительных материалах. При выборе строительных материалов необходимо ориентироваться на их радиационную и химическую безопасность. Также важно отметить улучшение организации мониторинга на базе экологического нормирования на этапах проектирования, контроля качества строительных материалов, возведения и сдачи объектов в эксплуатацию.

**Основная часть.** Опасность радиоактивного загрязнения связана не только с некоторыми географическими зонами повышенного радиационного фона, но и с присутствующими повсюду источниками природной радиации, что нельзя не учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Отбор материалов для строительства должен осуществляться по признаку не превышения установленных значений удельной эффективной

активности естественных радионуклидов  $A_{эфф}$ . Значение  $A_{эфф}$  для строительных материалов I класса не должно превышать 370 Бк/кг. Эти значения устанавливаются специализированными лабораториями и заносятся в паспорта на готовую продукцию. Естественные радионуклиды содержатся в любой из пород, входящих в состав строительных материалов. Наиболее высокие значения  $A_{эфф}$  фиксируются в вулканических породах, например, гранитах, наиболее низкие – в карбонатных породах (мрамор, известняк).

Данные лабораторий радиационного контроля нашей страны показывает, что для строительных материалов белорусского производства (например, гранит из Микашевичского месторождения, изделия из глины) значения  $A_{эфф}$  не превышают нормируемых. Но в строительных материалах, импортируемых из других стран, возможны превышения установленного значения  $A_{эфф}$ . Поэтому важно при проектировании строительных объектов и использовании материалов учитывать наличие сертификатов, где указывается их класс в соответствии с уровнем  $A_{эфф}$  (сертификация материалов проводится в соответствии с требованиями [1]).

Нормирование доз радиоактивного облучения от строительных материалов позволит ограничить облучение людей на основе общих принципов радиационной защиты при наличии отработанных методов контроля, нормативов и подготовленных кадров.

Особое внимание в рамках радиационного контроля необходимо уделять ограничению радонового облучения внутренних помещений зданий. Радон – радиоактивный газ, не имеющий цвета и запаха. Исследованиями давно установлена связь между облучением радоном и онкологическими заболеваниями, возникающими у человека.

Радиоактивный газ радон повсеместно присутствует в кристаллических и осадочных горных породах, содержащих уран, радий, торий. Над геологическими разломами отмечается значительное превышение уровня радона, а таких в Беларуси достаточное количество, поэтому не менее 40 % территории нашей страны является потенциально радоноопасной (рисунок 1).

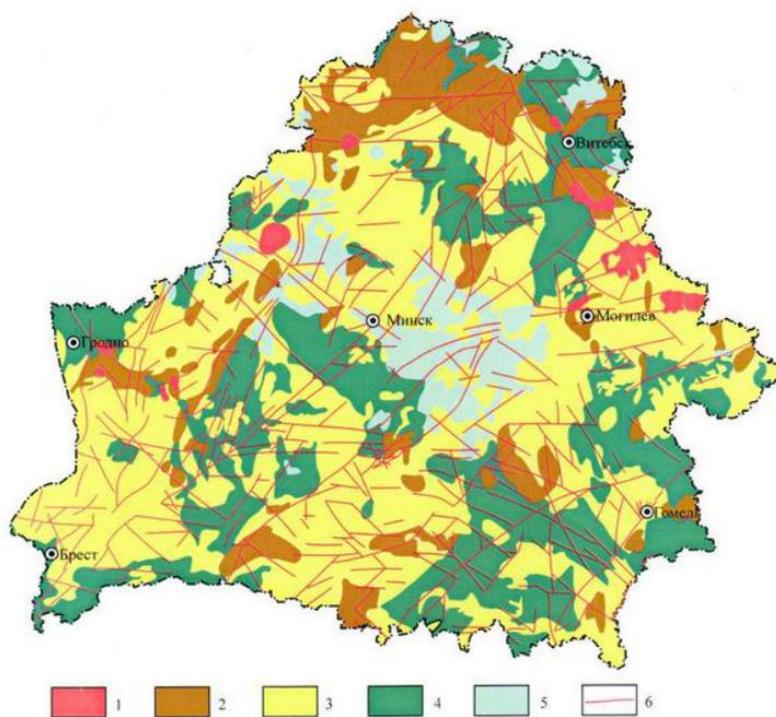


Рисунок 1. – Схема районирования по концентрации радона в почвенном воздухе  
1–4, 6 – потенциально радоноопасные участки  
(источник: Институт природопользования НАН Беларуси)

На территориях с превышением уровня радонового облучения (разломы и «темные» участки) необходимо обязательно измерение радона, чтобы в дальнейшем этот газ не проникал в строительные конструкции, подвальные помещения и первые этажи зданий. Однако, при строительстве объектов измерение радона в почве проводится нерегулярно и не учитывается его концентрация, что позволяет сделать вывод, что проблема последствий радона освещена недостаточно. Поэтому необходим комплексный подход к решению проблемы радоновой безопасности, включающий повсеместную паспортизацию всех возможных территорий застройки в населенных пунктах на наличие радона в почве и обеспечение безопасности строительных материалов на содержание  $A_{эфф}$ . Особенно важно проведение регулярного контроля плотности радонового потока.

В Беларуси для проектируемых и вновь построенных зданий общественного и жилого назначения содержание радона в воздухе не должно превышать  $100 \text{ Бк/м}^3$ , для уже эксплуатирующихся –  $200 \text{ Бк/м}^3$ . Концентрация радона в помещении является величиной непостоянной, может иметь кратковременные, сезонные и долгосрочные вариации. Корректная оценка среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона может быть получена на основании данных о скорости эксхалляции радона из строительных конструкций с учетом режима эксплуатации здания.

Важно отметить, что наибольшая эффективность противорадоновой защиты достигается на стадии проектирования. Решения по снижению концентрации радона в помещениях становятся гораздо дешевле, чем мероприятия по радоновой защите в уже эксплуатирующихся зданиях. К способам снижения концентрации радона можно отнести: интенсивную вентиляцию подвальных помещений и всего здания в целом, а также предотвращение поступления радона в жилые помещения с устранением трещин и щелей в полах, стенах и герметизацией стыков. Здесь встает необходимость введения в нормативную документацию на строительные конструкции требований для проведения контроля скорости эксхалляции радона из них и нормирование этой величины в зависимости от назначения здания.

Таким образом, выполнение норм радиационной безопасности в строительном комплексе Беларуси за счет снижения ионизирующего излучения естественных радионуклидов и радона в строительных материалах и изделиях, будет способствовать повышению уровня экологической безопасности зданий общественного и жилого назначения.

Повышение комфорта проживания и жизнедеятельности человека также напрямую связано с уменьшением вредных суммарных воздействий от окружающих его строительных материалов в помещениях. Оценка токсичности внутренних помещений объектов жилищного и общественного строительства представляет собой систему контроля состояния воздушной среды с целью выявления опасных химических веществ. Научные исследования показывают, что одним из самых значительных источников загрязнения зданий являются непосредственно строительные материалы и изделия. Так, например, фенолы, входящие в состав линолеумов, шпатлевок, а также формальдегиды, ацетоны, ксилолы, стиролы, толуолы и другие вещества. Внесенный в список канцерогенных веществ формальдегид, обладающий хронической токсичностью, повсеместно используется в ДСП. Также в практике строительства широкое применение получили полимеры на основе поливинилхлорида, полистирола и иных вредных компонентов. На их основе выпускаются различные покрытия стен, полов, мебели.

Суммированное воздействие токсических веществ, выделяемых строительными материалами, в настоящее время не учитывается и не регламентируется нормами. Конечно, использование только полностью экологически чистых материалов для отделки внутренних помещений зданий не представляется возможным, но при выборе материалов и сопоставлении вариантов проектировщику необходимо отдавать предпочтение наиболее экологичным

(например, керамической плитке, гипсовым материалам, утеплителю на основе пенобетона и т.д.). Одним из вариантов решения проблемы может стать всеобщая экологическая сертификация материалов, применяемых в строительстве, а также повышенный санитарно-гигиенический контроль их использования, особенно материалов, поступающих из-за рубежа.

Экспертиза качества строительных материалов должна оценивать неблагоприятное воздействие на здоровье человека и устанавливать требования на условия производства, хранения, применения и утилизации. В противном случае, применение материалов, не прошедших экологическую экспертизу, влечет к накоплению вредных веществ во внутренних помещениях зданий. При нормировании экологических требований, предъявляемых к строительным материалам, необходимо также учитывать отсутствие специфических запахов; доступность для влажной дезинфекции, с целью предотвращения развития патогенной микрофлоры; выделение вредных летучих веществ в количестве, оказывающем негативное (аллергенное или канцерогенное) воздействие на человека.

**Заключение.** Таким образом, для строительства жилых и общественных зданий выбор материалов должен основываться на минимизации воздействий вредных веществ, оказывающих негативное влияние на здоровье и жизнь человека. На стадии проектирования должны быть заложены технические решения по предотвращению попадания радона из почвы во внутренние помещения зданий на основе мониторинга и учета геологических особенностей местности. Нормативная документация должна содержать требования для проведения контроля скорости эксхалляции радона из строительных материалов и конструкций, а также нормировать эту величину в зависимости от назначения строительных сооружений. Все материалы, применяемые в строительстве, должны иметь экологические сертификаты, подтверждающие возможность их безопасного применения.

Комплексный подход к проблемам экологической безопасности при проектировании, строительстве и сдачи объектов в эксплуатацию, основанный на экологическом нормировании и регулярном мониторинге, позволит свести к минимуму влияние негативных воздействий на жизнь человека.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ТР 2009/013/ВУ. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность. – Введ. 01.08.2010 (с изменениями 1-4). – Минск: Госстандарт, 2015. – 25 с.
2. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. – Введ. 01.02.1995 (с изменением № 1-2). – Минск: Минстройархитектуры, 1995. – 11 с.
3. Губская, А. Г. Обеспечение норм радиационной безопасности в строительном комплексе Республики Беларусь / Губская А.Г., Вашкевич Т. А., Ушакова Н. И. // Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2017. – С. 16-20.
4. Гулабянц, Л. А. Инженерный метод прогностической оценки концентрации радона в проектируемом здании / Гулабянц Л. А. // Строительные материалы. – Москва, 2016. – № 6. – С. 50-54.
5. Кулиева, Г.А. Некоторые сложности радиационного контроля в строительном деле / Кулиева Г.А, Глебов В.В. // Вестник МГСУ. – Москва, 2013. – № 8. – С. 104-109.
6. Yarmoshenko. I. Factors influencing temporal variations of radon concentration in high-rise buildings / Yarmoshenko. I, Zhukovsky. M, Onishchenko A., Vasilyev A., Malinovsky G. // Journal of Environmental Radioactivity 232 (2021). – P. 106575.

УДК 697.9

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ ВОЗДУХО-ВОЗДУШНОГО РЕКУПЕРАТИВНОГО  
ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

**С.В. Ланкович**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: [s.lankovich@psu.by](mailto:s.lankovich@psu.by)

*В целях решения проблем энергоресурсосбережения предлагается исполнение экспериментального стенда для испытания воздухо-воздушного рекуперативного пластинчатого теплообменника, предназначенного для утилизации теплоты низкопотенциального вторичного возобновляемого энергоисточника вытяжного вентиляционного воздуха.*

**Ключевые слова:** энергосбережение; рекуперация; модернизация; вторичные энергоисточники; экспериментальный стенд.

EXPERIMENTATION OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PROCESSES  
IMPROVEMENTS TO THE AIR-TO-AIR RECUPERATIVE PLATE-TYPE HEAT-EXCHANGER

**S. Lankovich**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: [s.lankovich@psu.by](mailto:s.lankovich@psu.by)

*In order to solve the problems of energy saving, an experimental stand is proposed for testing an air-to-air recuperative plate-type heat exchanger designed to utilize the heat of a low-potential secondary renewable energy source of exhaust ventilation air.*

**Keywords:** energy saving; recovery; modernization; secondary energy sources; experimental stand.

**Введение.** Для создания энергоресурсоэффективного устройства тепловой вентиляции с использованием вторичных и природных энергоресурсов с целью снижения материальных и энергетических затрат при строительстве и эксплуатации чердачных зданий с улучшенными качествами воздушной среды и комфортными условиями проживания предлагается схема экспериментального стенда, созданного с учётом геометрического подобия и масштабирования путём соотношения размеров модели и натуре, аэродинамического подобия за счёт равенства критериев Рейнольдса и тепломассообменных процессов при равенстве критериев Нуссельта для реальных условий и модели.

**Основная часть.** На рисунке 1 представлена схема экспериментального стенда, состоящего из герметичного помещения 1, пластинчатого теплоутилизатора 2 рекуперативного действия, канального вентилятора 3, подключенного в электросеть через автотрансформатор и который через вытяжной воздуховод 4 связан с атмосферой.

Теплоутилизатор 2 имеет шесть патрубков с фиксацией температуры. Один из патрубков через гибкий воздуховод соединен с канальным вентилятором, а тот в свою очередь с помещением 1.

Забор наружного воздуха осуществляется через воздухоприемное устройство в конструкции окна, соединенное с теплоутилизатором с помощью гибкого воздуховода.

В помещении 1 в качестве теплоисточника используется тепловой вентилятор 4.

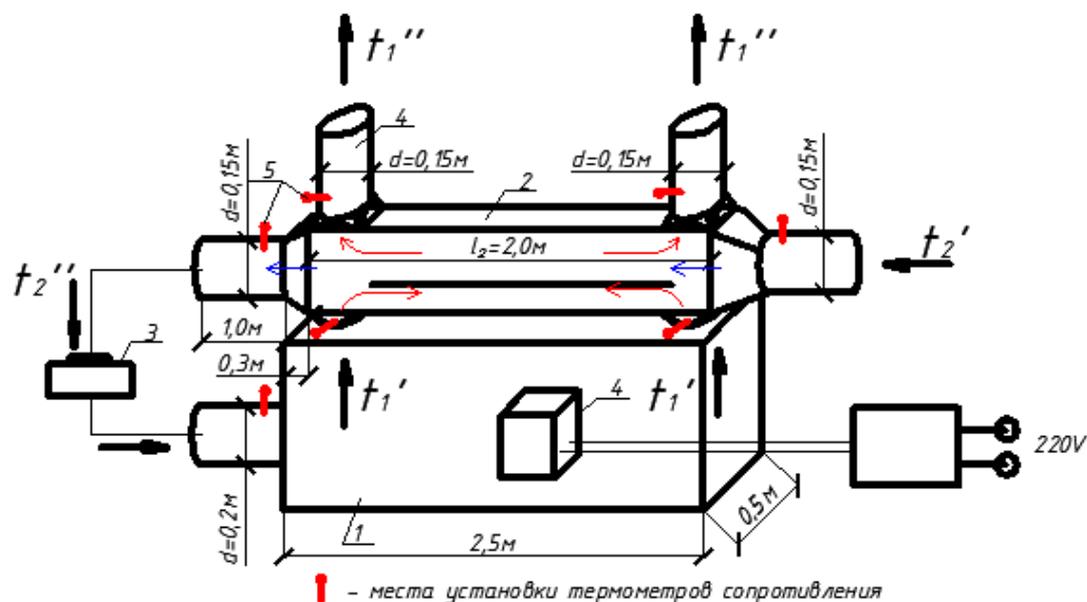


Рисунок 1. – Схема экспериментального стенда для испытания воздухо-воздушного рекуперативного пластинчатого теплообменника усовершенствованной конструкции с канальным вентилятором и компьютерной фиксацией параметров

Воздухообмен по притоку и вытяжке сбалансирован и составляет для газифицированных квартир с 4-х конфорочными бытовыми газовыми плитами в объеме нормативных значений: для кухни  $L_k = 90$  м<sup>3</sup>/ч; для санузла и ванной  $L_{сy} = L_v = 25$  м<sup>3</sup>/ч, а в сумме  $L_{пр} = L_k + L_{сy} + L_v = 90 + 25 + 25 = 140$  м<sup>3</sup>/ч, согласно требований [5].

Температурный режим теплообменника с целью исключения инееобразования соответствует температурам греющего теплоносителя (вытяжного воздуха)  $t_{1'} = +20^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{1''} = +5^{\circ}\text{C}$ , а для нагреваемого теплоносителя (наружного воздуха)  $t_{2'} = -20^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{2''} = -5^{\circ}\text{C}$ .

С помощью последовательного интерфейса RS-232 через адаптер интерфейса AC2 осуществляется связь прибора УКТ38-Щ4-ТС с компьютером, на котором установлен пакет программ Owen Process Manager 1.x состоящий из двух подсистем:

Подсистема Owen Process Manager (OPR) – описывает технологический процесс и сохраняет эти описания на диске, предусматривает опрос прибора УКТ38-Щ4 с периодичностью, заданной для прибора, отображает результаты в главном окне системы и отражает полученные значения в файлы протоколов.

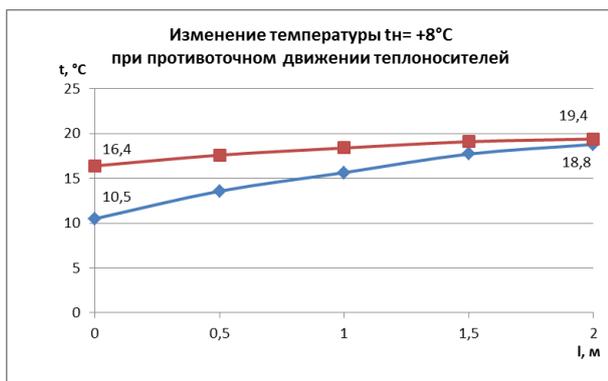
Подсистема Owen Report Viewer (ORV) – отображает сохраненную в архивных файлах информацию в виде таблиц и графиков.

Измерение скорости воздуха осуществляется с помощью термоанемометра testo-410.

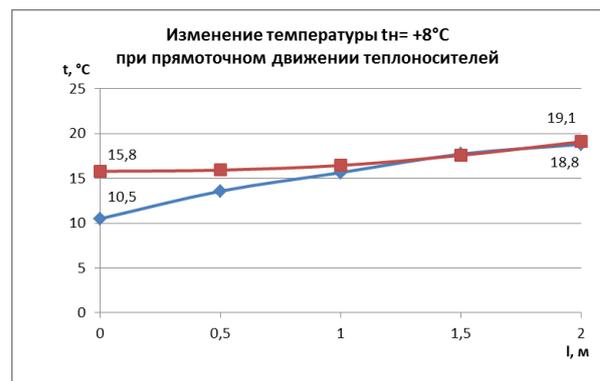
При экспериментальных исследованиях значение величины воздухообмена  $L_{пр}$  изменяются за счёт изменения подачи напряжения на вентилятор с помощью автотрансформатора и регулирования положения дроссель-клапанов, установленных на патрубках теплоутилизатора. Температура воздуха зафиксирована в местах установки термометров сопротивления, согласно схеме на рисунке 1, подключенных к устройству для измерения и контроля температуры УКТ38-Щ4-ТС. Получены результаты измерений, представленные в таблице 1, на основании данных которой построены графики изменения температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при различных температурах наружного воздуха при противоточном и прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений.

Таблица 1. – Результаты исследования воздухо-воздушного рекуперативного пластинчатого теплообменника

$t_n$ - температура наружного воздуха, °С;	$t'_2$ - температура приточного воздуха до теплоутилизатора, °С;	$t_{\text{пр}}$ - температура приточного воздуха после теплоутилизатора, °С;	$t''_2$ - температура приточного воздуха, подаваемого в помещение, °С;	$t'_1$ - температура вытяжного воздуха на входе в теплоутилизатор, °С (при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений), °С;	$t''_1$ - температура вытяжного воздуха на выходе из теплоутилизатора, °С (при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений), °С;	$t'_1$ - температура вытяжного воздуха на входе в теплоутилизатор, °С (при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений), °С;	$t''_1$ - температура вытяжного воздуха на выходе из теплоутилизатора, °С (при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений), °С;	Скорость воздуха на входе в помещение, м/с	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Относительная влажность воздуха, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
+8	10,5	16,4	18,8	19,4	16,4	19,1	15,8	2,2	140	81
+5	10,1	16,5	19	19,6	16,6	19,3	16	2,2	140	82
0	5,5	17,6	19,9	20	16,8	20,2	16,6	2,2	140	73
-1,5	2,3	18,5	20	20	13,5	20	15,2	2,2	140	86
-20	-15	10,5	13	18	11,3	17,8	13	2,2	140	65



а)

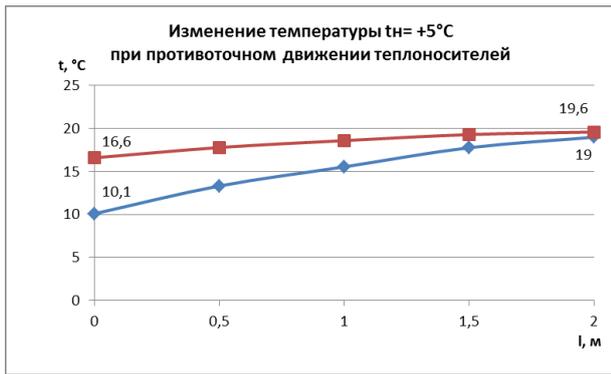


б)

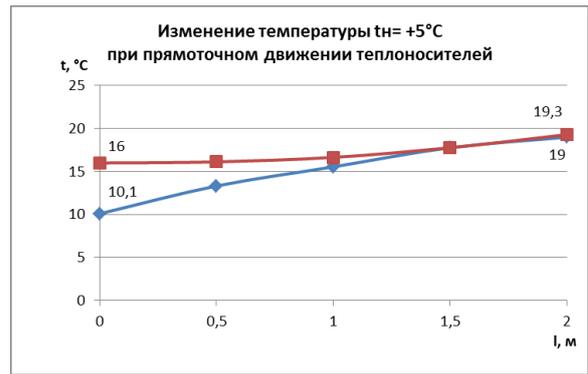
а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;

б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 2. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха +8°C



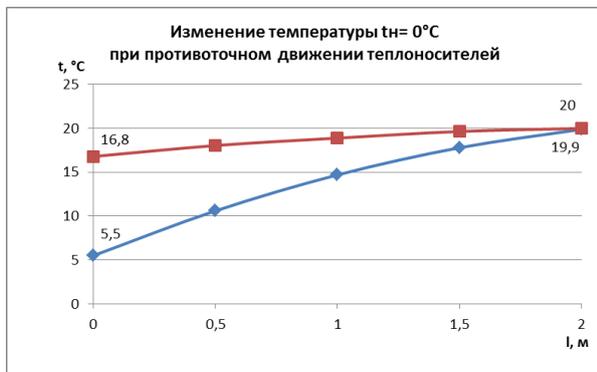
а)



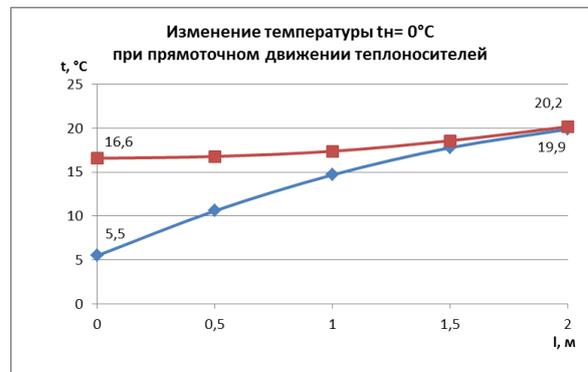
б)

а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;  
 б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 3. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха +5°C



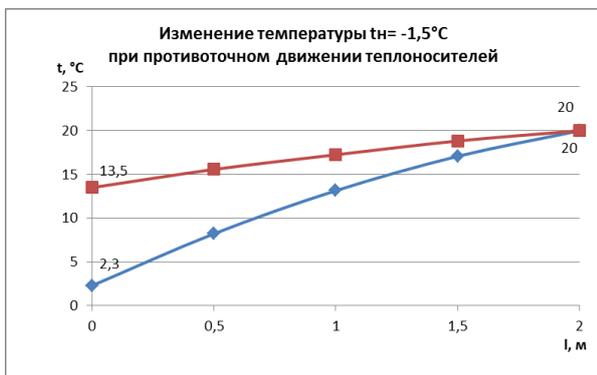
а)



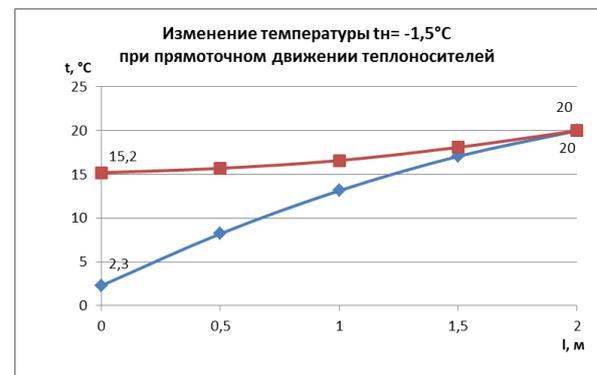
б)

а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;  
 б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 4. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха 0°C



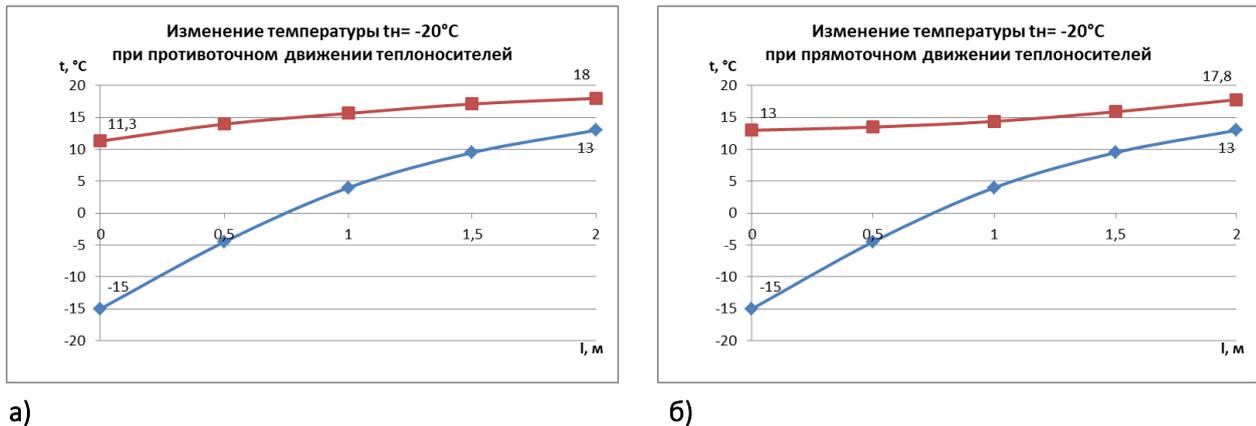
а)



б)

а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;  
 б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 5. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха -1,5°C



а)

б)

а) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений;

б) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рисунок 6. – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике при температуре наружного воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$

На основании экспериментальных данных определили коэффициент эффективности исследуемого теплоутилизатора на примере температуры наружного воздуха  $-1,5^{\circ}\text{C}$ :

- при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений:

$$\eta_{\text{охл}} = \frac{t'_1 - t''_1}{t'_1 - t'_2} = \frac{20 - 13,5}{20 - 9} = 0,59 = 59\% .$$

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t'_2} = \frac{20 - 9}{20 - 9} = 1,0 = 100\%$$

- при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений:

$$\eta_{\text{охл}} = \frac{t'_1 - t''_1}{t'_1 - t'_2} = \frac{20 - 15,2}{20 - 9} = 0,436 = 43,6\% .$$

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{t''_2 - t'_2}{t'_1 - t'_2} = \frac{20 - 9}{20 - 9} = 1,0 = 100\%$$

По Id-диаграмме при  $t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$  и  $\phi=40\%$ , температура точки росы  $t_{\text{m.p.}}=7^{\circ}\text{C}$ , т.е.  $t_{\text{m.p.}} < t''_1$ , что свидетельствует о том, что теплообмен проходит без конденсации в «сухом» режиме.

По построенным на рисунках 2-6 графикам, определим эффективность исследуемого теплоутилизатора через каждые 0,5м на примере температуры наружного воздуха  $-1,5^{\circ}\text{C}$ :

$$l=0,5\text{м}; \quad t''_2=12,5^{\circ}\text{C}; \quad t'_1=15,7^{\circ}\text{C}; \quad \eta_{\text{нагр}} = \frac{12,5 - 9}{15,7 - 9} = 0,52;$$

$$l=1,0\text{м}; \quad t''_2=15,8^{\circ}\text{C}; \quad t'_1=17,8^{\circ}\text{C}; \quad \eta_{\text{нагр}} = \frac{15,8 - 9}{17,8 - 9} = 0,77;$$

$$l=2,0\text{м}; \quad t''_2=20^{\circ}\text{C}; \quad t'_1=20^{\circ}\text{C}; \quad \eta_{\text{нагр}} = \frac{20 - 9}{20 - 9} = 1,0 .$$

Значения коэффициентов эффективности исследуемого теплоутилизатора при различных температурах наружного воздуха представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Значения коэффициентов эффективности исследуемого теплоутилизатора при различных температурах наружного воздуха

$t_n$ - температура наружного воздуха, °C;	Коэффициент эффективности охлаждения, % (при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений)	Коэффициент эффективности нагрева, % (при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений)	Коэффициент эффективности охлаждения, % (при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений)	Коэффициент эффективности нагрева, % (при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений)
+8	33,7	93,3	38,4	96,5
+5	31,6	93,7	35,9	96,7
0	22,1	99,3	24,5	98,0
-1,5	36,7	100,0	27,1	100,0
-20	20,3	84,8	14,6	85,4

**Заклучение.** Эффективность теплообменников заводского изготовления составляет около 60%. Полученное значение эффективности исследуемого теплоутилизатора выше эффективности теплообменников заводского изготовления, что свидетельствует о правильном выборе конструкции теплоутилизатора и его высокой энергоэффективности. Полученные данные позволяют судить о работе теплоутилизатора в холодный и переходный период года. Анализируя полученные значения, можно сделать вывод, что в переходный период года при использовании данного теплообменника температура на выходе из него достигает допустимых значений параметров микроклимата в помещении. В холодный период год догрев воздуха остается необходимым, но значительно снижается диапазон дополнительного нагрева, а следовательно, и расход энергетических ресурсов.

Из рассмотрения графиков, представленных на рисунках 2-6 можно сделать вывод, что температурный напор вдоль поверхности при прямотоке изменяется значительно, и среднее его значение меньше, чем при противотоке, поэтому, при прямотоке передается меньшее количество теплоты, чем при противотоке. Таким образом, с теплотехнической точки зрения следует отдавать предпочтение противотоку, если какие-либо другие причины (например, конструктивные) не заставляют применять схему прямотока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ланкович С.В. Экспериментальный стенд для исследования оптимальных параметров эксплуатации теплоутилизаторов различного конструктивного исполнения / С.В. Ланкович, В.И. Липко // Материалы докладов 50-ой международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки, Т1, г. Витебск, 20 апреля 2017г. / Витебский государственный технологический университет; редкол. Кузнецов А.А. [и др.]. – Витебск, 2017. – С. 291-293.

2. Ланкович С.В. Конструктивно-технологические усовершенствования энергоэффективных зданий с технологическими чердаками с целью минимизации теплотребления от внешних энергоресурсов / С.В. Ланкович, В.И. Липко // Сборник «Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации» сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета. 2018. С. 392-398.
3. Ланкович С.В. Основы теории, расчёт и моделирование тепломассообменных процессов энергоэффективных систем тепловоздухоснабжения жилых чердачных зданий с пластинчатыми воздухо-воздушными теплоутилизаторами /С.В. Ланкович, В.И. Липко, К.Д. Никифорова // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания» 6-8 апреля 2016 г. с.234-241.
4. Ланкович С.В. Энергоресурсоэффективная технология тепловоздухоснабжения модернизированных жилых зданий с тёплыми чердаками с использованием вторичных и природных энергоисточников /С.В. Ланкович, В.И. Липко, К.Д. Никифорова // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкий государственный университет. Сер. Строительство. – Выпуск 14(84). – С. 182-183.– Электронный оптический диск–1 диск.
5. СН 3.02.01-2019 Жилые здания / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск. – 2020.

Секция V  
ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ МИРА, ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

УДК 372.8:72

ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ АКАДЕМЧЕСКОГО РИСУНКА  
СТУДЕНТАМ ДИЗАЙНЕРСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

*О.Д. Кузякова*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: [o.kuziakova@psu.by](mailto:o.kuziakova@psu.by)

*Необходимость подготовки квалифицированных специалистов в области дизайна. Роль рисунка в данном процессе. Изображение фрагмента интерьера или экстерьера. Цели, задачи, дополнительные задания, характерные ошибки при рисовании интерьера и экстерьера.*

**Ключевые слова:** дизайн, форма, объёмно-пространственное представление, линейная перспектива, рисунок с натуры, по представлению, по воображению.

PROBLEMS OF TEACHING ACADEMIC DRAWING TO STUDENTS OF DESIGN SPECIALTIES

*O. Kuziakova*

Polotsk state university, Republic of Belarus

e-mail: [o.kuziakova@psu.by](mailto:o.kuziakova@psu.by)

*The need for training of qualified specialists in the field of architecture. The role of drawing in this process. Image of a fragment of the interior or exterior. Goals, tasks, additional tasks, typical mistakes when drawing the interior and exterior.*

**Keywords:** design, shape, volume-spatial representation, linear perspective, drawing from observation, drawing from memory, drawing from imagination.

**Введение.** Научно-техническое развитие конца XIX, начала XX в. привело к появлению множества новых профессий, среди которых одно из важнейших мест занимает профессия дизайнера. Дизайн в современном обществе активно воздействует на различные компоненты материальной и духовной культуры. Дизайнеры участвуют в создании предметно-пространственной среды, непосредственно и постоянно воздействующей на человека. Это предъявляет высокие требования к результатам практической деятельности специалиста-дизайнера [1].

Рисунок играет значимую роль в процессе развития профессиональных навыков студентов-дизайнеров. Это отражает общеобразовательный стандарт высшего образования, который содержит дисциплину «Академический рисунок».

**Основная часть.** Особенности преподавания академического рисунка студентам специальности «Дизайн» проистекают из специфики дизайн – деятельности, где творческий процесс привязан к созданию формы и пространства.

Поскольку дизайнер работает с объёмом, формой и пространством, важно сформировать у него образное объёмно-пространственное представление, научить видеть и понимать структурные связи между предметами и явлениями, развить способность анализировать кон-

струкцию объекта. Под объемно-пространственным представлением понимается навык, позволяющий свободно ориентироваться в воображаемом трехмерном пространстве, вставлять в него трехмерные объекты, вращать, передвигать и мысленно трансформировать их. Для дизайнера рисунок является средством, позволяющим визуализировать и моделировать воображаемую реальность, формировать художественно-проектное мышление [2].

При обучении дизайнеров выявился существенный пробел в их начальном художественном образовании – имея общее верное представление о принципах, последовательности работы над рисунком с натуры, они испытывают большие затруднения в тех случаях, когда сталкиваются с необходимостью достоверно, убедительно, с соблюдением законов перспективы изобразить свои творческие замыслы и идеи, используя рисунок по памяти, по представлению и воображению.

Преодолеть сложности в организации качественного преподавания академического рисунка студентам специальности «Дизайн» мешает то, что типовая учебная программа по академическому рисунку, ориентирована на рисунок с натуры, как основной метод обучения рисунку. Однако, этот метод важно дополнить другими, которые будут способствовать обучению будущих дизайнеров видению и пониманию объёма, конструктивных свойств объектов и их взаимосвязи с окружающим пространством, обучат приёмам мысленной трансформации формы объекта. Программа должна предлагать согласованное применение следующих видов деятельности: долгосрочный рисунок и набросок; выполнение рисунка с натуры и рисунок по представлению и воображению; линейный, линейно – конструктивный и тональный рисунок. Должен осуществляться последовательный переход от изучения малого пространства к изучению большого; от рисунков с натуры к рисункам по представлению и воображению; от мышления репродуктивного к мышлению творческому. Соответственно, уже имеющиеся основные задания должны быть дополнены рядом вспомогательных [3;4].

Рассмотрим данный процесс на примере такого задания как изображение фрагмента интерьера или экстерьера с натуры, которое предусматривает, как правило, каждая учебная программа по обучению дизайнеров в различных вузах. Предложим на примере этого задания способы согласования различных методов обучения рисунку.

**Цель задания.** Освоение приёмов изображения и трансформации пространства. Изучение способов взаимодействия пространственных объектов между собой.

**Задачи.** Сформировать в сознании студента ряд пространственных образов и способы их трансформации, понимание расположения и направления движения формы в пространстве. Способствовать изучению законов линейной перспективы, правил построения перспективы на две, три точки схода, сферической перспективы в рисунке.

Основное задание представляет собой рисунок с натуры экстерьера, интерьера или крупногабаритных объектов в интерьере. Оно выполняется по всем правилам линейной перспективы. При его выполнении студенты знакомятся с формой, пропорциями, взаимным расположением объектов в пространстве.

Дополнительные задания раздела посвящены изучению способов изображения пространственных объектов посредством линейной и воздушной перспективы при использовании необычных ракурсов. При выполнении заданий студенты должны продолжить изучение правил построения перспективных изображений и усвоить, что они являются общими как для натюрморта, так и для интерьера, и экстерьера. Перед выполнением вспомогательных практических заданий, студентам следует напомнить разницу между перспективой фронтальной и угловой, теоретические правила построения на одну, две, три точки схода, правила построения сферической перспективы, используя перспективные схемы, наглядно поясняющие расположение точек схода для параллельных линий относительно линии горизонта. Имеет смысл данные схемати-

ческие изображения перспективных построений призматических объектов демонстрировать студентам с целью их зарисовать для лучшего понимания и усвоения (рисунок 1; 2; 3; 4).

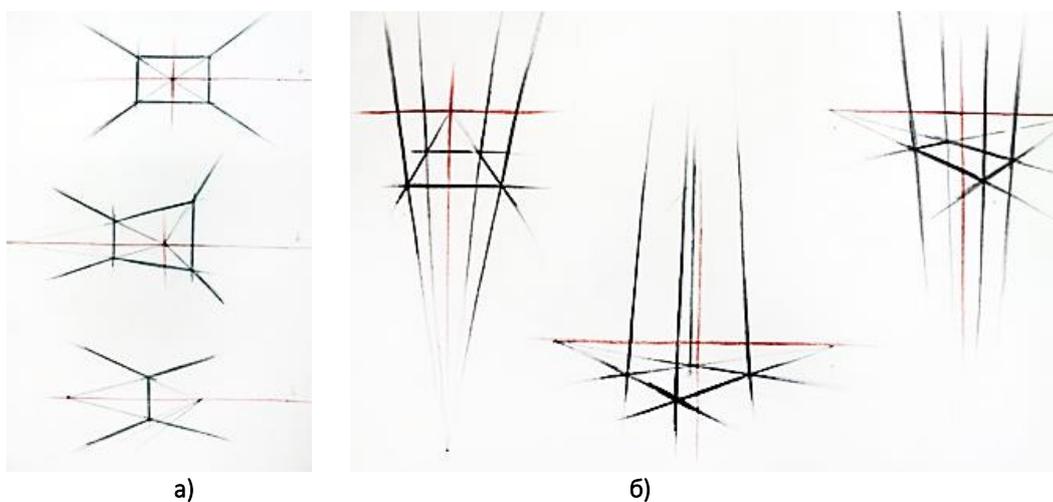


Рисунок 1. – Схематические изображения перспективных построений на одну и две точки схода (а) и три точки схода (б)

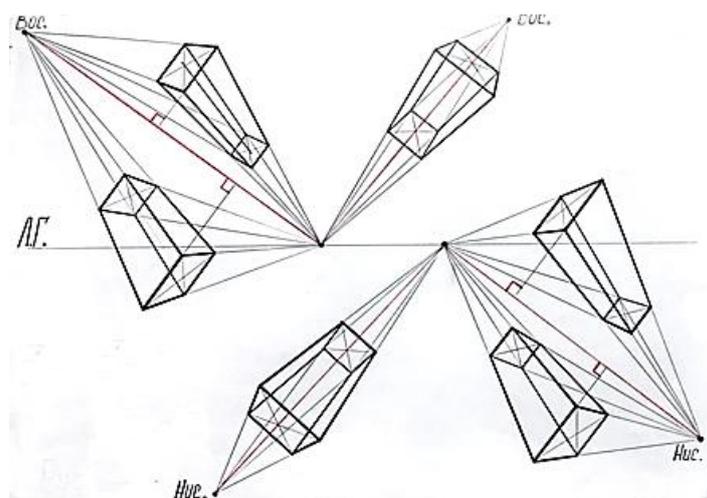


Рисунок 2. – Схематические изображения перспективных построений призматических объектов

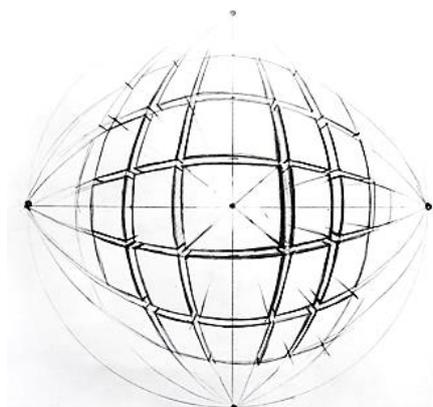


Рисунок 3. – Схематическое изображение построения объектов при использовании сферической перспективы

После изучения перспективных схем, студентам предлагается выполнить рисунок прежнего объекта уже по представлению на три точки схода мысленно поменяв точку зрения: вид сверху, вид снизу, вид сзади и т. д. (рисунок 4).

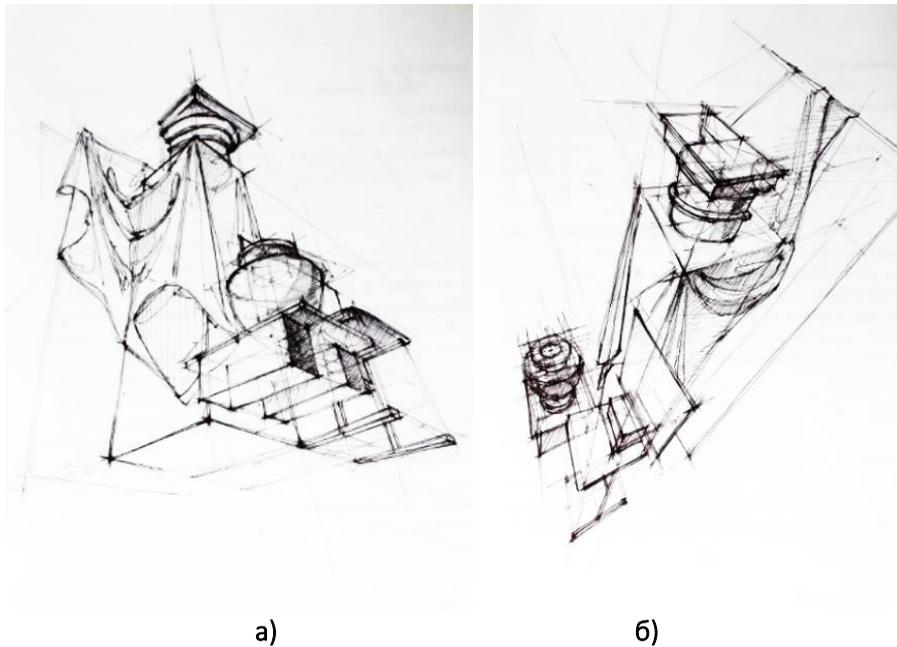


Рисунок 4. – Рисунок объекта по представлению: вид снизу (а), вид сверху (б)

Выполнение рисунка лестницы в интерьере, как с натуры, так и по представлению, предполагает демонстрацию студентам последовательности изображения плоскостей общего положения (восходящих и нисходящих), которые лежат в основе построения лестничных маршей (рисунок 5).

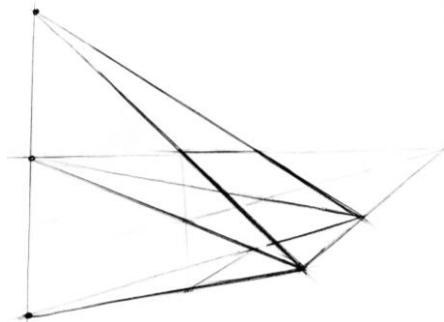


Рисунок 5. – Схематическое изображение построения плоскостей общего положения (восходящих и нисходящих)

Построение перспективных изображений больших пространств имеют свои ограничения, которые зависят от особенностей нашего зрения. Студенты сталкиваются с ситуацией, когда они не имеют возможности выполнить изображение так, как видят натуру в реальности. Им мешает близко расположенная точка зрения (их положение в пространстве) относительно натуры, когда их поле ясного зрения не перекрывает всю условную картинную плоскость, так как горизонтальный и вертикальный угол зрения, характеризующий величину поля ясного зрения, находится в пределах  $28^{\circ}$  -  $37^{\circ}$  [5].

Таким образом, при выполнении студентами перспективных изображений пространственных объектов выявлены следующие характерные ошибки:

- близкое расположение точки зрения к изображаемому объекту;
- ошибки с нахождением точек схода и определением всех параллельных прямых, которые должны сходиться в эти точки;
- восходящие или нисходящие лестничные марши изображаются в обратной перспективе.

Следовательно, задача преподавателя при использовании дополнительных заданий в учебном процессе – научить студентов комбинировать различные виды линейной и сферической перспективы, грамотно вводить корректировки (вместо одной точки зрения использовать несколько, возможны варианты с введением дополнительной линии горизонта) для того, чтобы на периферии изображения максимально избежать перспективных искажений или сознательно использовать в работе полученный эффект искажения. Использовать законы линейной и воздушной перспективы при поиске точек зрения для необычных в повседневной жизни ракурсов.

**Заключение.** Таким образом, полученные умения и навыки при изображении пространства и объектов в пространственной среде способствуют созданию запаса наработанных, закреплённых в сознании отрисованных образов, хорошие навыки уверенного и свободного рисования, умение свободно оперировать этими образами для формирования и выражения своей творческой мысли. Подобные качества возможно приобрести в результате систематического рисования по памяти, представлению и воображению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лугина, Я.А. Проблема формирования дизайнерского мышления / Я.А. Лугина // Омский научный вестник. – 2011. – №2(96) – С. 126–129.
2. Савинов, А.М. Особенности обучения академическому рисунку при подготовке дизайнеров / А.М. Савинов // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. – 2011. – № 3(3). – С. 81–85.
3. Евтых, С.Ш. наброски. зарисовки. эскизы: Учебное пособие для студентов специальности «Дизайн» / С.Ш. Евтых. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 115 с.: ил.
4. Кузин, В.С. наброски и зарисовки: пособие для учителей. 2-е изд. перераб. / В.С. Кузин. – М.: Просвещение, 1981. – 160 с., илл.
5. Осмоловская, О.В. Рисунок по представлению: учеб. пособие / О.В. Осмоловская, А.А. Мусатов. – 2-е изд. – М.: Архитектура-С, 2012. – 412 с. : илл.

УДК 378. 147

ПРИМЕНЕНИЕ СТУДЕНТАМИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ  
КУРСА «СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

**А.А. Протасевич**

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь  
e-mail: Vitanna22@list.ru

*Условия меняющегося мира предполагают переход высшего образования на новый этап развития с всё большим вовлечением в процесс обучения информационно-компьютерных технологий.*

**Ключевые слова:** строительное материаловедение, студенты, компьютерные презентации.

APPLICATION OF COMPUTING TECHNOLOGIES IN STUDYING THE COURSE  
«BUILDING MATERIALS»

**A. Protasevich**

State Technical University, Brest, Republic of Belarus  
e-mail: Vitanna22@list.ru

*Conditions of the varying world suppose a new stage of the development in higher education with using information computing technologies.*

**Keywords:** building materials, students, computing presentations.

Применение инновационных технологий в высшей школе позволяет повысить качество образовательного процесса и приблизить его к быстро меняющимся запросам общества и экономическим условиям. [1, с.268] Новые способы взаимодействия преподавателей и студентов предусматривают использование компьютерных средств и направлены на более эффективное достижение результатов учебного процесса.

При осуществлении педагогической деятельности преподаватель, руководствуясь принципом развития, ставит перед собой задачу пробудить интерес у обучающихся к предмету, стимулировать стремление к самостоятельному освоению и систематическому накоплению знаний, выработать потребность в непрерывном самообразовании, заняв активную жизненную позицию.

При изучении студентами строительного факультета технического университета предмета «Строительное материаловедение» программой предусмотрено проведение лабораторных работ, что предполагает защиту каждой из них с целью допуска к экзамену или зачёту в конечном итоге. Для стимулирования изучения предмета и контроля знаний, полученных при выполнении экспериментальных заданий и расчетов по той или иной тематике, преподаватель может применять различные способы: устный опрос, тестирование, решение задач, коллоквиум.

Некоторым группам студентов третьего курса специальности ПГС было предложено в качестве защиты лабораторных работ создать красочные компьютерные презентации и выступить с ними перед своими сокурсниками. Следует отметить, что на данное предложение студенты откликнулись весьма охотно и многие из них на первом же занятии определились с направлением, в котором они решили приложить усилия. При таком подходе присутствие студента на занятиях, выполнение им лабораторной работы в полной мере, оформление соответствующего отчета является обязательным, что само собой разумеется. Учащиеся

сами выбирают тему по своему усмотрению из предложенных преподавателем. Темы разрабатываемых презентаций были такими: «История развития производства вяжущих веществ», «Древние сооружения из древесины», «Современные гидроизоляционные материалы», «Полимеры в интерьере и хозяйстве», «Эффективная кровля» и др. Смысловое наполнение компьютерных презентаций и их оформление осуществляется студентами в среде Power Point по своему пониманию и вкусу. Некоторые из них проявили особую заинтересованность предметом, предложив собственные темы для детального изучения: «Необычные материалы в строительстве», «Древесина библейских преданий». Инициативность была подкреплена дополнительными баллами при защите лабораторных работ, что учитывалось в процессе сдачи экзамена. Наиболее объемные темы можно было проработать с соавторами, что способствует социализации и взаимопомощи в студенческой среде. Преподаватель в индивидуальном порядке консультирует студентов, координируя работу в выбранном направлении. Благодаря свободному доступу к ресурсам сети Интернет, студент самостоятельно осуществляет научный информационный поиск, что является результатом его собственного умственного труда. На наш взгляд, найденные самолично сведения касательно изучаемого предмета глубже проникают в сознание в противовес знаниям, изложенным преподавателем в готовом виде. В ходе подготовки доклада обучающиеся могут внести дополнительные факты и изображения в рамках выбранной тематики, которые их особенно впечатлили. Кроме того, допустимо использование короткометражных видеосюжетов по производству, применению и испытанию строительных материалов. Приветствуется демонстрация образцов материалов, (например, поликарбонат, ондулин, минвата, флизелиновые обои и проч.).

Студенты предоставляли красочные каталоги продукции отечественных предприятий стройиндустрии, о которой велась речь в докладе:

- производство богатого ассортимента керамической плитки, украшенной декором и фризами, с цифровой печатью для облицовки стен, пола, фасада, а также глазурованного керамогранита ОАО «Березастройматериалы»;
- добыча плотных горных пород в карьере Микашевичи и их переработка РУПП «Гранит» - одним из крупнейших в Европе);
- металлочерепица с полимерным покрытием на основе модифицированного текстурированного полиэстера; композитная черепица нового поколения с гранулами натурального камня; фальцевая кровля, виниловый сайдинг, софиты, водосточные системы, профнастил, модульные ограждения, распашные калитки, откатные ворота, снегозадержатели и др., предоставляемые компанией Grand Line в г.Бресте.

Сроки подготовки и сдачи достаточно гибкие: в течение всего семестра. При этом время предоставления презентации и доклада соответствует календарному плану проведения лабораторных работ одноименной тематики. На прослушивание доклада отводится 10-15 минут в конце лабораторной работы, которая может быть рассчитана на несколько занятий. После показа презентации студент отвечает на дополнительные уточняющие вопросы, как со стороны педагога, так и одноклассников. Ответы подкреплялись рассказами из собственного опыта (например, об увиденном на практике в г. Островец при участии в возведении АЭС либо в процессе работы на приусадебном участке с родителями).

В итоге работа предоставляется на информационном носителе, что дает возможность в последующем наиболее удачные презентации демонстрировать перед студентами младших курсов других специальностей (например, «Экономика», «Архитектура», «Мелиорация» и др.). В целом обстановка на занятии дружелюбная, напряженность отсутствует. Личность преподавателя несколько отодвигается на второй план, главная же роль на занятии отводится самим

студентам, которые занимают активную творческую позицию. Как показали итоговые результаты в конце семестра, в группах, где были подготовлены компьютерные презентации, экзаменационные оценки оказались выше на один балл, грубые ошибки не наблюдались.

Сокращение сроков получения высшего образования и переход ВУЗов РБ на четырехлетнюю систему обучения повлекли за собой соответствующее изменение календарных планов и учебных программ преподаваемых дисциплин, в которых предусмотрено большее количество часов самостоятельной работы, чем прежде.

Применение информационно-компьютерных технологий является весьма значимым в условиях меняющегося мира, что становится еще более актуальным в период эпидемиологической обстановки, связанной с коронавирусной инфекцией и вынужденным переходом на дистанционное обучение.

Цели, которые преследуются при подобном подходе:

- 1) повышение уровня мотивации в учебной деятельности;
- 2) разнообразие учебного процесса;
- 3) привлечение интереса к предмету;
- 4) более углубленное изучение прорабатываемых тем;
- 5) наглядное представление о строительных материалах, конструкциях, сооружениях, способах их изготовления, возведения и применения;
- 6) более эффективное использование времени, отведенного на занятия;
- 7) самоорганизация, самообучение, самоконтроль студентов; самостоятельный поиск информации, систематизация и анализ научных сведений, сравнение показателей качества рассматриваемых строительных материалов и изделий;
- 8) более эффективная реализация видеоизмененных учебных программ и планов;
- 9) наличие возможности проявить себя, выступив перед аудиторией;
- 10) развитие умения работать с Power Point, что может пригодиться в последующем при обучении на старших курсах либо в магистратуре;
- 11) более полезное времяпровождение у экрана монитора на современном этапе всеобщего увлечения компьютерными играми, видео просмотрами, соцсетями и обилия информации различного характера;
- 12) приспособление к новым формам обучения в условиях динамично меняющегося мира.

Таким образом, у преподавателя появляется возможность индивидуализировать и дифференцировать процесс обучения с учетом различной скорости усвоения материала, а также корректировать недостатки в учебе на основе коммуникативной составляющей взаимодействия в ходе выполнения лабораторных работ, подготовки докладов и создания компьютерных презентаций. В результате творческой групповой работы формируется инновационная направленность культуры мышления студентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К.В. Шакур, Д.Н. Вершило, Ю.Н. Будиков «Применение инновационных образовательных технологий в высшей школе». Материалы 8 международной научно-методической конференции. Часть 2. Минск БГУИР 2016г.

UDC 378. 147

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПО ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ

*И.А. Разумник<sup>1</sup>, Ю.П. Цыбукова, О.Г. Петровская*

Белорусская государственная академия авиации, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [irina.razumnik@mail.ru](mailto:irina.razumnik@mail.ru)

*В статье рассматриваются аспекты применения системы смешанного обучения в учебном процессе учреждений среднего специального и высшего инженерного образования. Дается ретроспективный анализ развития технологии и характеристика применения основных модулей на примере общепрофессиональных дисциплин.*

**Ключевые слова:** смешанное обучение, учебный процесс, общепрофессиональные дисциплины, модуль, онлайн-обучение

## APPLICATION OF THE BLENDED LEARNING SYSTEM IN THE EDUCATIONAL PROCESS IN GENERAL PROFESSIONAL DISCIPLINES

*I. Razumnik<sup>1</sup>, Yu. Tsybukova, O. Petrovskaya*

Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus

e-mail: <sup>1</sup> [irina.razumnik@mail.ru](mailto:irina.razumnik@mail.ru)

*The article discusses aspects of the application of the blended learning system in the educational process of institutions of secondary specialized and higher engineering education. A retrospective analysis of the development of technology and a characteristic of the application of the main modules are given on the example of general professional disciplines.*

**Keywords:** blended learning, educational process, general professional disciplines, modules, online learning

**Introduction.** The cycle of general professional disciplines is characterized by a wide range of providing polyprofessional knowledge and skills. It is the basis on which, subsequently, a system of professionally oriented knowledge from a cycle of special disciplines is superimposed.

The global reconstruction of the education system as a whole affects all levels of education, acquiring special significance in the system of secondary specialized and higher education.

It should be noted that classical education is going through a deep crisis caused by the following main factors:

- lagging behind the knowledge acquired by students from the level of technology development;
- the inertia of educational programs to rapidly changing socio-economic conditions.

The close relationship with the technologies of teaching natural science and mathematical cycles makes it possible to implement the requirements of a systemic study of objects in the process of engineering education. The organization of the educational process in the disciplines of the cycle of general professional disciplines begins with the development of their content and includes:

- setting goals and determining the level of professional tasks;
- determination of the branch of scientific knowledge, on the basis of which it is possible to form the ability to solve professional problems of a given level;

- preliminary development of the theoretical part of the disciplines based on the scheme for the formation of solutions to professional problems;
- concise development of the content of the discipline (drawing up a thematic plan of lectures, practical and laboratory work with an indication of their goals, independent work and assessment of the complexity of training, determination of teaching and control methods);
- development of methodological support of the educational process, etc.

In the modern educational space, these steps are undergoing significant changes. Now, several educational concepts have been formed, which have come to replace the technologies of traditional education. In the environment of university education, the University 3.0 model is being actively introduced, the founders of which are US universities. According to this model, the goal of the education process is radically changing: from providing information to creating conditions for the development of new knowledge and products on their own, their transfer and commercialization. At the same time, the role of the teacher is not only the translation of ready-made knowledge, but the design of new forms of education and teaching. The teacher acts as a coordinator and curator of the process of transferring knowledge, including between students, which allows you to create a new level of knowledge.

Currently, the implementation of the "University 4.0" model based on digital transformation in the education system is being actively promoted all over the world. A number of leading universities: Swinburne University of Technology (Australia), University of Portsmouth (UK), Danish Technical University (Denmark) and others, successfully and effectively apply authentic technologies and methods, digital tools and types of formative assessment for blended and online learning in educational practice.

In the Republic of Belarus in 2019, the "Concept of digital transformation of processes in the education system of the Republic of Belarus for 2019-2025" was adopted, which lays the foundation for digital transformation of processes in the education system, including the modernization of the infrastructure of the education system, the introduction of breakthrough technologies in the educational process, as well as optimization and digitization with the help of software of all processes occurring in the education system and implemented on the basis of making technical, software, methodological and regulatory decisions.

The Concept notes that a number of major trends in the field of digital transformation of processes in the education system are currently observed in the world: the use of augmented, virtual and mixed realities; the use of digital user devices in the classroom; creation of a transformable workspace; use of artificial intelligence; personalization of the educational process, etc.

Main part. The prerequisites for the formation of the technology of Blended Learning appeared in the 80s of the 20th century, with the creation of the «Videoplace» project by the American computer artist Myron Kruger - an interactive controlled environment, the prototype of the gamified learning process. The concept of blended learning technology was refined until 2006, and transformed into the definition of the phrase "blended learning" as a combination of face-to-face learning with computer-guided learning or "a range of possibilities presented by combining the Internet and electronic media with forms requiring physical co-presence in the classroom of the teacher and students."

Today, the term "blended learning" means the integration of traditional and innovative (electronic and mobile) forms of education, where these components can have the following ratios: from 50% - 50 to 20% - 80% or more, which imposes serious obligations on the level development of digital competencies of the teacher.

The Clayton Christensen Institute for the Study of Blended Learning (USA) defines blended learning as an educational technology that combines traditional classroom teaching with a teacher; online learning, which assumes that the student at least partially controls his own path, time, place and pace of learning; integrating the learning experience in these two environments.

The main prerequisites for the transition to blended learning were the contradictions in the degree of efficiency of classical educational processes:

- unwillingness of trainees to independently try to understand the educational material (with blended learning, the teacher has the ability to track the sequence of independent work);
- unproductive time spent by the teacher for an intermediate check of the assimilation of the material (in blended learning there is the possibility of automatic checking of control tasks by testing systems).

Blended learning has three main components:

- traditional direct personal interaction of participants in the educational process;
- interactive interaction through the use of computer technologies and resources;
- a high level of self-education.

There are a number of tasks that allow you to effectively solve the introduction of blended learning into the educational process:

- expanding the educational opportunities of students by increasing the availability and flexibility of education, taking into account their individual educational needs, as well as the pace and rhythm of mastering the educational material;
- stimulating the formation of the student's subjective position; increasing his motivation, independence, social activity, ability to interact and, as a consequence, increasing the efficiency of the educational process as a whole;
- transformation of the teacher's work style: the transition from the translation of knowledge to interactive interaction with the student, contributing to the construction of students' own knowledge;
- personalization of the educational process, when a student independently determines his educational goals, ways to achieve them, taking into account his educational needs, interests and abilities.

A number of learning blended models are distinguished. Let's consider the possibilities of their application in the educational process on the example of a number of general professional disciplines.

The Rotation model of blended learning is characterized by the alternation of methods of working with educational materials during the passage of an educational program; teaching time is split between one-to-one e-learning and classroom learning, along with the trainer, who also provides remote support for e-learning. For example, when studying the discipline "Economics of an Organization", the process of classroom work is supplemented by independent online training in an individual mode according to the link plan on the distance learning platform under test control of the teacher.

The Flex Model is characterized by the predominant use of e-learning; providing online, offline and face-to-face support for trainees; availability of an individual schedule; work in small groups; organization of group projects; individual training. For example, when studying the discipline "Protection of the population and territory from emergencies", work on projects in small groups is used, in which the teacher provides assistance to students as needed.

The Face to Face Driver model seeks to reinforce traditional face-to-face learning. In the process of studying the discipline "Fundamentals of Technical Mechanics" the teacher personally gives the bulk of the educational material, as necessary, including online training as an auxiliary one.

The A La Carte Model allows the online student to decide for themselves which classes will be attended face-to-face. This model can be actively used, for example, in the study of the discipline "Foreign language (professional vocabulary)", when having studied the required amount of linguistic material, a student individually or as part of a group can participate in a business game on the topic studied. The creation of the necessary video material should take into account the specifics of student learning and, therefore, include the following elements:

- subtitles in Russian with the ability to turn them on and off;
- reading of the material should be carried out by different teachers so that the student gets used to perceive different features of diction, as well as reading styles;

– multilevel material, so that the student can independently choose the difficulty admissible for him at this stage.

Using the A La Carte model in learning a foreign language solves several problems at once: it allows students who, for one reason or another, missed classes, to get clarifications on the material; makes it possible, if necessary, to return to these explanations as many times as necessary; increases the communication skills of students associated with improving the perception of oral professional speech.

The Flipped classroom model is characterized by the fact that the teacher provides students with remote access to the educational material for their independent study, and during the face-to-face lesson, completing practical tasks on the topic, the acquired knowledge is consolidated. Unlike the traditional viewing of an online lecture in class, time is not wasted in the classroom, but the problematic points of the material already studied are analyzed. For example, within the framework of the discipline "Fundamentals of Engineering Graphics" in the online lecture material, the topic "Images – views, sections, sections" is studied, and in the classroom lesson all problematic points of construction are clarified.

The teacher can combine the models at his discretion, depending on the goals and objectives of the discipline. Let us consider the possibility of using the technology of blended learning in the classroom in the disciplines "Physical culture and health" when studying the section of the program "Athletic gymnastics".

Applying the Flipped classroom model, the teacher provides access to a video resource on the basics of safe behavior in athletic gymnastics classes, demonstrating the technique of performing exercises with weights and own body weight detailed instructions and assignments are attached to the material. The material allows you to master the exercises, but in view of the individual characteristics of the organism, the level of development of physical qualities and other factors, the student may make mistakes. However, the general structure of movements, the theoretical substantiation of the processes occurring in the body, he is able to master independently. Video viewing allows you to repeat, pause, slow-motion, something that is impossible to do in a training lesson.

In the online process of studying the assignment, the student can ask questions to the teacher, discuss the nuances of the technique in chat with colleagues in the group. You can record your exercise performance on video, and, later, looking through, identify and eliminate errors in technique, comparing them with other records and a reference sample. Also an important factor is the ability to participate in mastering the assignment of students who are exempted from classes for any reason.

Coming later to the lesson, the student demonstrates the degree of mastering the educational material and then the teacher can change the model to the "Face to face" model and continue individual lessons or divide the students into microgroups within the flexible model.

Each model is distinguished by the predominance of one of three components of mixed learning technology:

- direct personal interaction of participants in the educational process.
- interactive interaction mediated by computer telecommunication technologies and electronic information and educational resources.
- self-education.

The teacher's activity is to coordinate the activities of students both internally and remotely, in a high-tech information and educational environment, building individual educational trajectories; organizing various types of activities using information and educational resources; selection of electronic educational content.

In a blended learning environment, the teacher provides feedback by commenting on the progress and speed of passing the educational material, the success of its implementation thanks to the functionality and information educational environment: videoconferences, forums, chats, etc. In ad-

dition, the teacher continuously monitors the educational process and comprehensive analysis of intermediate performance results each student by checking information about the activity of work in the network, the quality of control tasks performed in the test form, the number of attempts to complete a particular task, and access to additional educational resources.

To improve the effectiveness of blended learning, certain conditions must be met:

1. Blended learning should be purposeful and have a well-thought-out structure with sequential transitions between different types and types of learning activities.
2. The development of blended learning should be based on a systematic approach, including: learning objectives, target audience, learning needs, schedule, technology, learning architecture.
3. A system of intermediate and final control of the assimilation of knowledge, the acquisition of skills and abilities is needed; development of online tests, project topics, etc.
4. Conducting an analysis of the training needs of the target audience, basic knowledge and skills, experience, preferred learning styles.
5. Choosing one of the typical goals of blended learning programs: reaching a larger number of students, increasing the effectiveness of the practical application of the knowledge gained.
6. The optimal ratio of types and types of educational activity.
7. Construction of different trajectories and training scenarios for different groups of trainees.
8. Preparation of documentation and methodological support of the educational process.

Conclusion. Blended learning is a promising learning system that combines the benefits of traditional and interactive learning. In our opinion, the development of a mixed form of education can become one of the key areas of modernization of the entire educational sphere. The use of blended learning in the system of secondary specialized and higher education provides a number of additional opportunities for achieving maximum efficiency of educational processes:

- increasing the motivation of students' cognitive activity;
- the possibility of implementing individual curricula with an unlimited choice of subjects, the level of their development and methods of organizing educational activities;
- the possibility of maximum objectification of the assessment procedure and results;
- implementation of individual requests for the level of educational achievement using the situation of success;
- the possibility of intensifying educational activities in order to save time for the implementation of other educational and cultural needs;
- increasing the effectiveness of teaching activities in order to achieve new educational results;
- the use of new types of control and communication in the pedagogical process;
- the opportunity to work with highly motivated students.

#### LITERATURE

1. Kostina, E.V. Mixed learning model / E.V. Kostina // *Izvestiya vuzov. Series Humanities*. 2010. No. 1 (2). – S. 141–144.
2. Logvinenko, Yu.V. Didactic advantages of using new information technologies in the educational process / Yu.V. Logvinenko // *TSU Science Vector, "Pedagogy, Psychology" series*. - 2011. - No. 1. - S. 106-109.
3. Shchelkunov, M.D. New generation universities / M.D. Shchelkunov // *Bulletin of Economics, Law and Sociology*. - Kazan. - No. 1. - 2017. - S. 187-192.
4. Shea, P. Does online learning impede degree completion? A national study of community college students / P. Shea, T. Bidjerano // *Computers & Education* -2014 - vol. 75 - P. 103- 111.

УДК 372.862

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*Н.П. Яловая<sup>1</sup>, Ю.С. Яловая<sup>2</sup>*

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: <sup>1</sup> [yalnat@yandex.by](mailto:yalnat@yandex.by), <sup>2</sup> [jul4onka@mail.ru](mailto:jul4onka@mail.ru)

*Статья посвящена вопросам трансформации инженерного образования во взаимосвязи с современными тенденциями в социальной сфере. Повсеместное внедрение компьютерной техники и средств информационно-коммуникационных технологий обуславливает существенные изменения не только в области образования, но и в других областях жизнедеятельности человека. Однако современный уровень развития общества диктует и новые требования к организации обучения в высшей школе. Одним из актуальных направлений развития образования является геймификация, которая позволяет добиться вовлеченности студентов в образовательный процесс, а также мотивировать обучающегося.*

*Одним из актуальных направлений развития образования является геймификация образования, которая позволяет добиться высокой мотивации и вовлеченности студентов в образовательный процесс.*

**Ключевые слова:** образование, трансформация, геймификация, мотивация, вовлечение, информационные технологии.

## TRANSFORMATION OF ENGINEERING EDUCATION IN MODERN CONDITIONS

*N. Yalavaya, Y. Yalavaya*

Brest State Technical University, Republic of Belarus

e-mail: [yalnat@yandex.by](mailto:yalnat@yandex.by), [jul4onka@mail.ru](mailto:jul4onka@mail.ru)

*The article is devoted to the transformation of engineering education in conjunction with modern trends in the social sphere. The widespread introduction of computer technology and means of information and communication technologies causes significant changes not only in the field of education, but also in other areas of human life. However, the current level of development of society also dictates new requirements for the organization of education in higher school. One of the topical trends in the development of education is gamification, which allows students to become involved in the educational process, as well as to motivate the student.*

**Keywords:** education, transformation, gamification, motivation, involvement, information technology.

С переходом современного общества в новую фазу изменяются и основные социальные процессы, протекающие в нем, трансформируются и адаптируются все общественные сферы, в том числе и система высшего образования. Образование как социальный институт, социальная система и отдельная сфера жизнедеятельности общества также приспособляется к новым условиям функционирования [1]. В настоящее время цели функционирования института сохранились, но серьезные трансформации произошли в методах, способах и технологиях инженерного образования. Одним из новшеств в образовательной системе является внедрение процесса геймификации образования. Персональные компьютеры, ноутбуки, смартфоны, планшеты стали неотъемлемой частью нашей повседневной и профессиональной жизни, по-

этому введение игровых элементов в образовательный процесс повышает эффективность усвоения материала, развивает практические компетенции, а также позволяет контролировать вовлеченности студента в обучение [2].

Вместе с тем на сегодняшний день в Республике Беларусь накоплен незначительный опыт применения игр в образовательном процессе. Однако многие европейские высшие учебные заведения имеют многолетнюю практику использования различных игровых образовательных технологий: в электронном и дистанционном варианте, в оффлайн аудиторном режиме и в режиме онлайн, а также таких виртуальных платформ, как Kahoot!, Socrative, Hot Potatoes и др. Попробуем рассмотреть некоторые из них.

Kahoot! – игровая обучающая платформа, используемая в качестве образовательной технологии в учебных заведениях. Данный ресурс позволяет проводить опрос непосредственно во время лекционных или практических занятий, что дает возможность оценить уровень полученных знаний как до занятия, так и после. При этом количество ответов студентов и начисленные баллы за правильный ответ и быстроту реакции мгновенно отображаются ресурсом на экране. Такая непосредственная обратная связь еще больше усиливает вовлеченность студентов в обучающий игровой процесс. На рисунке 1 представлен внешний вид сайта Kahoot! с одним из вопросов и четырьмя вариантами ответов.

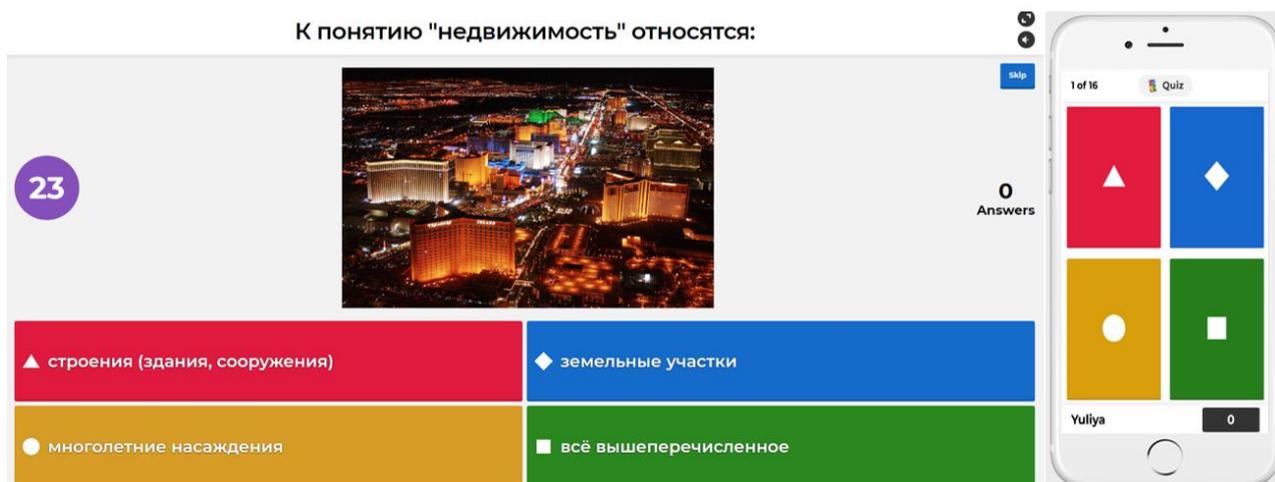


Рисунок 1. – Внешний вид сайта Kahoot! на экране проектора и смартфона соответственно

Кроме этого, на рисунке 1 (справа) представлен внешний вид программы на экране смартфона: на нем отображены пиктограммы, соответствующие предлагаемым ответам, на одну из которых студент должен нажать, когда выберет ответ. Также Kahoot! позволяет создавать онлайн тесты и опросы, которые могут отображаться проектором на экране. Кроме текста Kahoot! предоставляет возможность встраивать рисунки, графики, таблицы, а также аудио и видео контент.

Студенты отвечают на вопросы теста с любого подключенного к Интернету устройства. Как показывает практика применения на занятиях ресурса Kahoot!, особенно увлекательным студентам находят возможность использовать для этих целей собственные смартфоны. По окончании теста программа показывает моментальный рейтинг набранных баллов с тремя победителями (рисунок 2). Достоинством сайта Kahoot! является сохранение в виде отчета полученных ответов для дальнейшего анализа преподавателем. Это позволяет пересмотреть содержание и представление учебного материала на следующий учебный год с целью повы-

шения его усвоения студентами. Кроме этого, полученные результаты могут быть использованы для более глубокого изучения понятий и разделов, вызвавших трудности у студентов [3].



Рисунок 2. – Рейтинг победителей в Kahoot!

Socrative – сервис, который помогает преподавателям создавать тесты и викторины для определения уровня знаний студентов. Этот сервис позволяет создавать новые опросы прямо во время совместной сессии преподавателя и студентов, работающих с приложением. Данная программа работает по типу «виртуальной комнаты», в которой преподаватель руководит процессом игрового обучения, т.е. даёт старт опросам, создаёт новые викторины, тесты, а студенты со своих смартфонов, планшетов или компьютеров подключаются к виртуальной платформе. На вопросы викторины можно отвечать под своим именем или анонимно, в зависимости от того, какой режим проверки знаний определил преподаватель. Преподаватель сразу видит статистику ответов, когда студенты выполняют задание (рисунок 3). Ответы участников викторины или опроса помогают преподавателю анализировать, насколько успешно усвоен материал и оценить объём их знаний для того, чтобы преобразовать и улучшить учебную программу. Преподаватели могут сделать выводы о наличии преуспевающих и отстающих студентов, об успеваемости группы в целом и проследить изменение этих показателей в течение всего семестра.

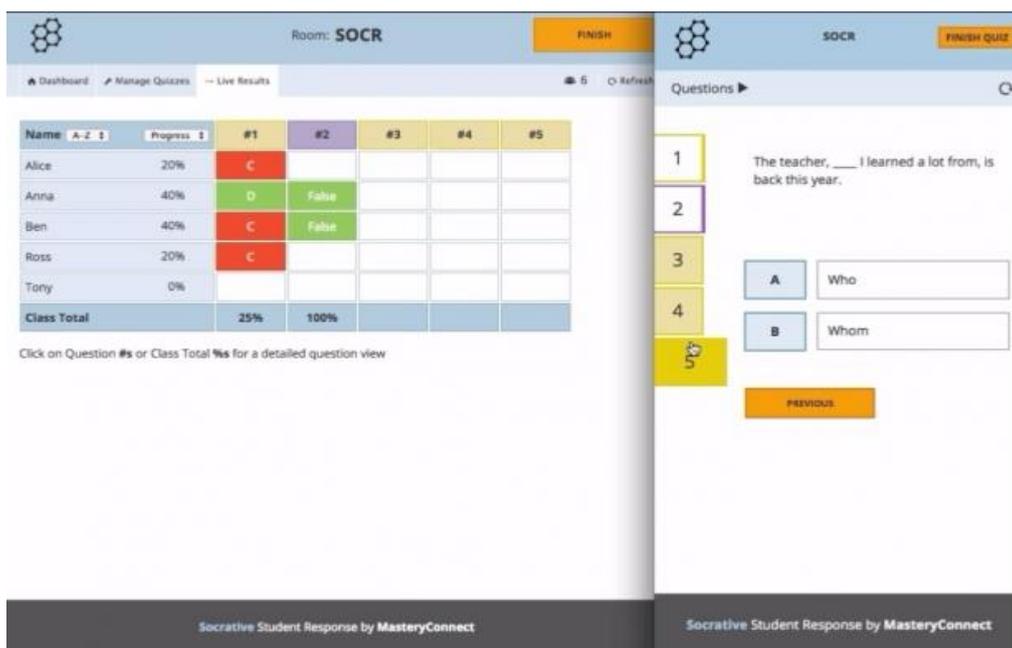


Рисунок 3. – Внешний вид сервиса Socrative

Hot Potatoes – инструментальная программа-оболочка, предоставляющая преподавателям возможность самостоятельно создавать интерактивные задания и тесты для контроля и самоконтроля студентов без знания языков программирования и привлечения специалистов в области написания программ. На рисунке 4 представлено главное окно программы с блоками в виде картофелин. С помощью программы можно создать 10 типов упражнений и тестов по различным дисциплинам с использованием текстовой, графической, аудио- и видеоинформации. Особенностью этой программы является то, что созданные задания сохраняются в стандартном формате веб-страницы: для их использования студентам необходим только веб-браузер (например, Google Chrome), т.е. студентом сама платформа Hot Potatoes не используется, она требуется только преподавателю для создания и редактирования тестов, опросов и упражнений. Программа широко используется во всем мире для создания заданий, поскольку не требует специальных знаний в области компьютерных наук.

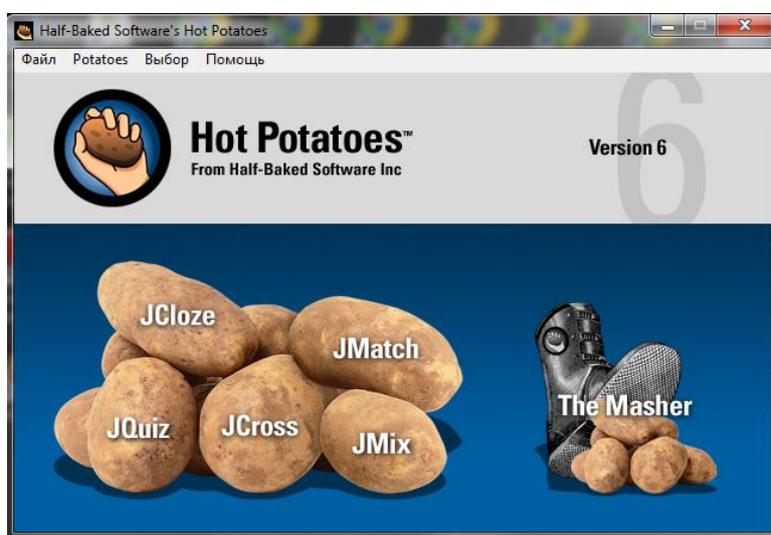


Рисунок 4. – Внешний вид программы Hot Potatoes

Вместе с тем рассмотренные выше образовательные программы – это лишь малая часть электронных платформ для создания тематических викторин, тестов и опросов, которые позволяют трансформировать учебный процесс на современный уровень. На сегодняшний день насчитывается порядка 40 обучающих игровых сервисов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, однако позволяющих разнообразить учебный процесс и внести в систему обучения определенный элемент развлечения, который так популярен среди современной студенческой молодежи.

Таким образом, изменения, происходящие в мире, связанные с внедрением информационно-коммуникационных технологий как в образовании, так и на производстве, обуславливают необходимость трансформации процесса подготовки инженерных кадров в университете. Одним из направлений такой трансформации – геймификация, связанная, прежде всего, в настоящее время с широким применением дистанционных форм обучения. Тем не менее, в применении такого рода элементов обучения присутствуют и отрицательные моменты: недостаточная «глубина» полученных знаний, значительные временные затраты на разработку тестов, опросов и викторин. Геймификация зачастую требует индивидуального подхода к личности каждого студента. В настоящее время в белорусской университетской практике геймификация пока не получила широкого распространения. Основными причинами можно назвать слабую техническую оснащенность университетов, загруженность и некомпетентность про-

фессорско-преподавательского состава в информационно-коммуникационных технологиях, а также «англоязычность» подавляющего большинства интернет-платформ [4].

Внедренная в Брестском государственном техническом университете игровая обучающая платформа Kahoot! позволила проконтролировать усвоение материала студентами при преподавании таких дисциплин, как «Инженерная экология», «Отраслевая экология», «Оценка объектов недвижимости», «Экспертиза и инспектирование недвижимости», «Экономика строительства», а оставленные после прохождения пройденных тестов положительные отзывы подтвердили эффективность использования данного игрового подхода в образовательной среде. Вместе с тем из проведенного анализа использования данной платформы можно с уверенностью сказать, что наибольшая распространенность и максимально полезный эффект будет заметен в геймификации процесса изучения гуманитарных дисциплин, а также при изучении теоретических основ инженерных дисциплин. Однако любая из представленных выше программ имеет место для существования, может применяться при преподавании любой дисциплины в университете, что позволит разнообразить учебный процесс, а также повысить мотивацию за счет элемента развлечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Щуров, И. А. Трансформация непрерывного образования инженеров в условиях форсированного развития и применения информационно-коммуникационных технологий / И.А. Щуров, С.Д. Ваулин // Вестник ЮУрГУ. – 2018. – № 1. – С. 78–101.
2. Царев, Р. Ю. Применение Kahoot! при геймификации в образовании / Р. Ю. Царев // Международный журнал перспективных исследований. – 2017. – № 1. – С. 9–17.
3. Яловая, Н. П. Инновационные технологии в повышении эффективности обучения и организации образовательного процесса в ИПКиП БрГТУ / Н. П. Яловая, Ю. С. Яловая // Социально-экономическое развитие городов и регионов: градостроительство, развитие бизнеса, жизнеобеспечение города : материалы II Международной научно-практической конференции, Волгоград, 3 февраля 2017 г. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. – Волгоград : ВолгГТУ, 2017. – С. 207–212.
4. Дубровская, Е. С. Применение электронных ресурсов для создания образовательных викторин с целью формирования иноязычной компетенции / Е. И. Дубровская // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – № 5. – С. 177–182.

УДК 378.048.2

ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ  
В СОЮЗНОМ ГОСУДАРСТВЕ НА ПРИМЕРЕ КАЗАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
И ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Е.Г. Кремнева<sup>1</sup>, Э.Р. Кушаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь, <sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup> [e.kremneva@psu.by](mailto:e.kremneva@psu.by), <sup>2</sup> [kushaeva-257@mail.ru](mailto:kushaeva-257@mail.ru)

*В статье рассматриваются вопросы подготовки кадров высшей квалификации в аспирантурах России и Беларуси, как Союзного государства. На примере двух университетов: Казанского национального исследовательского технологического университета (Россия) и Полоцкого государственного университета (Беларусь) показаны общие тенденции о подходах к подготовке и обучению аспирантов, преимущества и недостатки, возможные направления по улучшению качества подготовки молодых ученых.*

**Ключевые слова:** аспирантура, послевузовское образование, третья ступень высшего образования, прием, подготовка, обучение, выпуск, грант Erasmus+.

TRAINING OF POST-GRADUATE STUDENTS IN THE UNION STATE ON THE EXAMPLE  
OF KAZAN NATIONAL RESEARCH TECHNOLOGICAL UNIVERSITY AND POLOTSK STATE UNIVERSITY

E. Kremneva<sup>1</sup>, E. Kushaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Polotsk State University, Republic of Belarus, <sup>2</sup> Kazan National Research Technological University, Russian Federation

e-mail: <sup>1</sup> [e.kremneva@psu.by](mailto:e.kremneva@psu.by), <sup>2</sup> [kushaeva-257@mail.ru](mailto:kushaeva-257@mail.ru)

*The article discusses the issues of training of post-graduate students in Russia and Belarus, as a Union State. On the example of two universities: Kazan National Research Technological University (Russia) and Polotsk State University (Belarus), shows the overall trends on approaches to preparation and training of post-graduate students, the advantages and disadvantages, possible directions for improving the quality of the preparation of young scientists*

**Keywords:** postgraduate study, postgraduate education, third stage of higher education, admission, preparation, training, graduation, grant Erasmus+

Подготовка высококвалифицированных научных работников на постсоветском пространстве началась более 90 лет назад. После распада Советского союза, в образованных независимых государствах, как в России, так и в Беларуси подготовка аспирантов была примерно одинаковой в рамках единой для всех республик системы послевузовского образования.

В последнее десятилетие в аспирантурах двух стран произошли существенные изменения. В России до конца 2012 года подготовка аспирантов осуществлялась в системе послевузовского профессионального образования. Согласно вступившего в силу Федерального закона № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», аспирантура в России стала третьей ступенью высшего образования [1, ст. 10]. В Беларуси в 2011 году был принят Кодекс об образовании [2], этот основной документ определил общие требования к организации и осуществлению деятельности

в сфере, согласно Кодекса, основное образование разделилось на уровни, а послевузовское образование разделилось на две ступени: аспирантура и докторантура, [2, ст. 12]. Все это повлияло на прием, подготовку и выпуск молодой научной элиты Союзного государства.

Несмотря на разную систему образования две страны, будучи заинтересованными в последовательном развитии сотрудничества, подписали Меморандум о взаимопонимании между Государственным комитетом по науке и технологиям Республики Беларусь и Министерством образования и науки Российской Федерации о сотрудничестве в области послевузовского профессионального образования, для оказания содействия по установлению и развитию партнерских связей между российскими и белорусскими образовательными учреждениями и научными организациями в области послевузовского профессионального образования, [3]. Однако несмотря на это, наличие широкой сети информационного общения, обмен опытом между структурными подразделениями, сопровождающими подготовку и обучение аспирантов и самими аспирантами практически не осуществляется. Также отсутствует обмен опытом с государствами Евросоюза.

В Полоцком университете возможность обмена опытом подготовки научных работников высшей квалификации появилась в связи с реализацией международного проекта программы Эразмус+ «Modernization of Doctoral Education in Science and Improvement of Teaching Methodologies»/ «Модернизация подготовки аспирантов в области естественных наук и совершенствование методик обучения» (MODEST), в котором две страны являются партнерами. Грантодержателем в проекте выступает Латвийский университет, а участниками являются вузы не только России и Беларуси, но и Армении, Великобритании, Польши и Финляндии. Благодаря данному проекту был выполнен анализ подготовки кадров высшей квалификации России и Беларуси, на примере Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ) и Полоцкого государственного университета (ПГУ).

За основу был принят пятилетний период с 2015 по 2019 годы, когда аспиранты двух стран, России и Беларуси, уже полностью прошли подготовку по обновленным нормативным документам, а вот в 2019-2020 годах, в двух странах начали происходить изменения, направленные на модернизацию послевузовского образования. Таким образом можно сказать, что трансформация образования в двух странах началась примерно в один и тот же период.

Что касается образования в России, то подготовка и обучение аспирантов осуществляется по направлениям и направленностям. В Беларуси - по отраслям наук и специальностям, соответствующим номенклатуре специальностей научных работников Республики Беларусь. Так название специальностей аспирантуры Полоцкого университета соответствует наименованию направленностей аспирантуры Казанского национального исследовательского технологического университета, но есть отличия в систематизации специальностей, шифрах и кодах.

Прием в аспирантуру двух вузов отличается перечнем предоставляемых документов и сроками их подачи. Что касается вступительных экзаменов, то в Республике Беларусь, для поступающих на дневную и заочную форму получения образования сдается экзамен по специальной дисциплине. Кандидатский минимум в виде двух экзаменов и одного зачета, лица, поступающие в аспирантуру на дневную и заочную форму получения образования должны сдать до поступления в аспирантуру, [4, 5]. В Российской Федерации перечень вступительных испытаний определяет сам вуз. Это может быть, как один экзамен по специальности, так и, например, философия, иностранный язык и экзамен по специальности. В КНИТУ в качестве вступительных испытаний включены два предмета: иностранный язык и специальная дисциплина. А вот сдача кандидатских экзаменов в России входит в программу подготовки аспиранта.

Структура образовательной программы аспирантуры в российских вузах состоит из четырех блоков. В белорусских вузах деление на блоки отсутствует, и аспиранты занимаются

только научно-исследовательской работой по теме диссертации, у них нет обязательных дисциплин для изучения, кроме специальности. За время подготовки они проходят промежуточные аттестации (минимум две за учебный год) в виде отчетов о работе, сдачи кандидатского экзамена по специальной дисциплине, написания статей и апробации результатов деятельности на конференциях.

В программу российских вузов введены дисциплины для изучения и практики. Высшие учебные заведения Беларуси вводят различные дополнительные курсы для аспирантов. Такие меры приняты в связи с тем, чтоб молодой ученый, вступающий в трудовую жизнь, был адаптирован к запросам современного общества. Данные курсы направлены на развитие у аспирантов не только гибких навыков, но и междисциплинарных, а также культурных. Так, Полоцком государственном университете, в 2017 – 2019 годах, были внедрены следующие гибкие курсы: «Эффективная коммуникация с группами», «Эффективное построение карьеры», «Методология научного исследования» (отдельными семинарскими занятиями), а также курсы для инженерных специальностей «Новые идеи для принятия решений», «Базовый курс ANSYS». Обучение по таким дисциплинам проводилось по утвержденным экспериментальным программам, учебному плану и графикам учебного процесса, [6].

Сравним прием, выпуск и отчисления аспирантов по двум моделям образовательных программ аспирантур, для этого введем средние относительные показатели за пять лет, 2015 – 2019 годы, по приему, выпуску и отчислению аспирантов (рисунок 1).

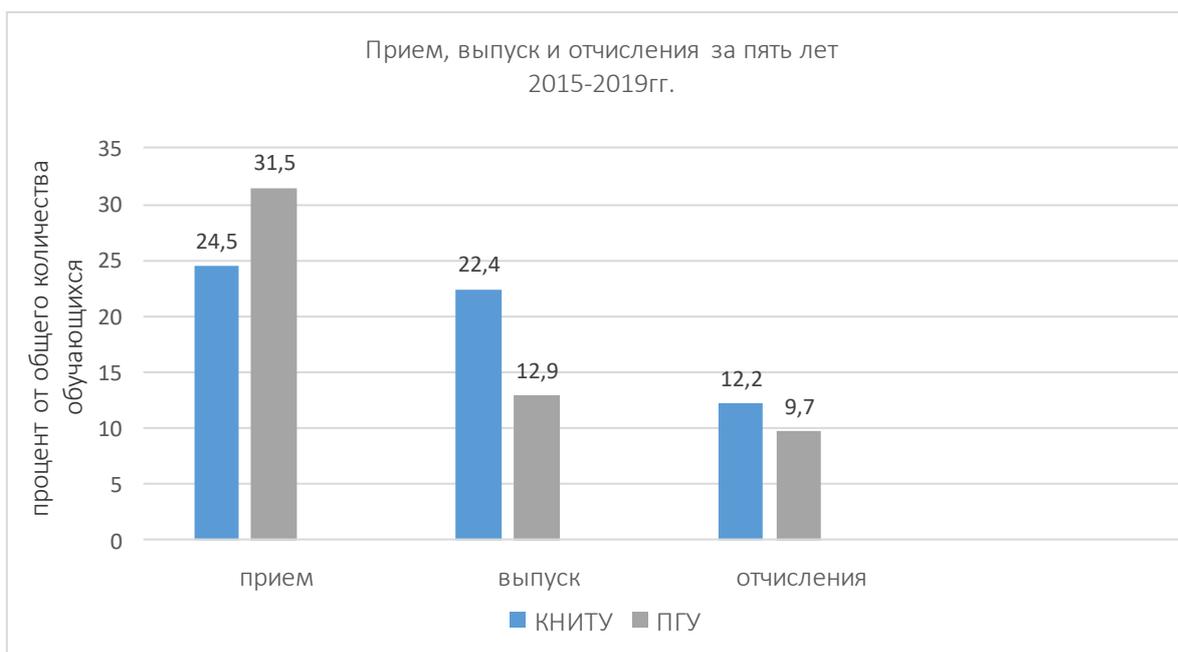


Рисунок 1. – Усредненные показатели приема, выпуска и отчисления КНИТУ и ПГУ

Как видно из усредненных показателей гистограмм за пятилетний период прием в аспирантуру Полоцкого государственного университета по относительным показателям более чем 20% выше, но выпуск в Казанском национальном исследовательском технологическом университете больше, почти на 40%, при практически равных процентах, отчисленных из двух вузов.

Анализ выпуска аспирантов Полоцкого государственного университета за пять лет показывает, что исследовательская работа для них не являлась одной из главных и, подходя к окончанию подготовки, многие молодые люди уходили в академические отпуска, в основном

связанные, либо с финансовым положением, либо с доработкой диссертационной работы для того, чтобы при восстановлении представить ее в срок.

Что касается эффективности подготовки молодых ученых в двух странах, следует отметить, что, удельный вес выпуска из аспирантуры в Республике Беларусь с защитой диссертации в пределах установленного срока обучения в 2019 году и 2018 году одинаков и составил 9,8% соответственно. [7]. В Российской Федерации этот процент составил в 2019 году – 10,5% (в 2018 – 12,4%). [8, 9]. И в России, и в Беларуси процент защищающихся в срок обучения весьма низок и практически составляет одну десятую часть от общего количества.

Несмотря на разную специфику подготовки и обучения аспирантов, общая динамика по двум вузам практически не отличается. Поэтому увеличение образовательной нагрузки в аспирантуре Казанского национального исследовательского технологического университета не является в данном случае главной причиной не предоставления диссертаций в пределах установленного срока обучения. Однако стоит отметить, что образование аспирантов Полоцкого государственного университета в области гибких навыков, приобретения знаний в смежных и узкоспециализированных областях, является как существенной дополнительной нагрузкой, которая может отвлекать их от подготовки диссертаций, так и мощным преимуществом в знаниях и умениях, которые являются востребованными в современном мире рынка труда.

В итоге можно сказать, что, имея разные образовательные программы аспирантур, количество защит диссертаций низкое в обеих странах. И это связано с падением имиджа ученого и престижа научно-педагогической работы. Современное молодое поколение, вступая в активную трудовую жизнь, направляет свой интеллектуальный потенциал в те отрасли экономики и бизнеса, где более заметна и быстра отдача. К тому же, во многом результативность работы аспиранта зависит от научного руководителя. Сегодня научный руководитель – это не только ученый, но и психолог, а также грамотный управленец, который должен планировать наличие доступности информационной и материальной базы, прогнозировать затратность и сроки исследования. В связи с возрастающим прагматизмом молодого поколения и потребностью современного общества в молодой научной элите, владеющей не только своим научным направлением, но и умеющей ориентироваться в современном мире науки, образования и бизнеса необходимы качественные изменения в их подготовке. На основании анализа приема, подготовки и обучения, выпуска из аспирантур двух вузов можно выделить следующие мероприятия, проведение которых повлияет на подготовку:

- проводить профориентационную работу со студентами вторых-третьих курсов (время их прихода на специализированные кафедры), проявившими склонность к научной работе, показывать привлекательность карьеры ученого и важность научно-педагогической работы;
- приглашать способных, талантливых молодых людей к работе в научные коллективы (научные школы, исследовательские сектора, технопарки и др.) для выполнения работ, в том числе по заказам организаций и предприятий;
- считать работу научного руководителя аспиранта одной из приоритетной в вузе;
- обеспечить условия для подготовки рукописи диссертации не только в аспирантуре, но и после завершения образования, когда молодой специалист приступает к трудовой деятельности, имея еще незавершённую рукопись и достаточно большую нагрузку на рабочем месте.

Огромную важность здесь приобретает поддержка на государственном уровне престижа научно-педагогических работников, что, безусловно, обеспечит успешность подготовки в аспирантурах и приведет к увеличению количества желающих заниматься наукой и строить карьеру ученого.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 №273-ФЗ [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174).
2. Кодекс Республики Беларусь от 13.01.2011 № 243-З (ред. от 18.07.2016) // Консультант Плюс. Республика Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.consultant.ru/?utm\\_source=sps](https://www.consultant.ru/?utm_source=sps).
3. Меморандум о сотрудничестве в области послевузовского образования между ГКНТ и Минобрнауки России. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.gknt.gov.by/deyatelnost/nauchnye-kadry/planirovanie\\_podgotovki\\_nauchnykh\\_rabotnikov\\_vysshey\\_kategorii/](http://www.gknt.gov.by/deyatelnost/nauchnye-kadry/planirovanie_podgotovki_nauchnykh_rabotnikov_vysshey_kategorii/)
4. Указ Президента Республики Беларусь от 01.12.2011 № 561 (ред. от 20.01.2017) «О некоторых вопросах подготовки и аттестации научных работников высшей квалификации» (вместе с «Положением о подготовке научных работников высшей квалификации в Республике Беларусь») // Консультант Плюс. Республика Беларусь. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.consultant.ru/?utm\\_source=sps](https://www.consultant.ru/?utm_source=sps).
5. Постановление Министерства образования Республики Беларусь, 12.06.2012г., №62. «О перечне документов, представляемых лицами, поступающими в аспирантуру, докторантуру»// Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21226134&p1=1&p5=0>.
6. Кушаева, Э.Р. Сравнительные характеристики подготовки кадров высшей квалификации в университетах России и Беларуси / Э.Р. Кушаева, Е.Г. Кремнева // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2020. – № 1(45). – С. 108–119.
7. О состоянии и перспективах развития науки в Республике Беларусь по итогам 2019 года: Аналитический доклад / под ред. А. Г. Шумилина, В. Г. Гусакова. — Минск: ГУ «БелИСА», 2020 г. — С.178.
8. Подготовка научных кадров высшей квалификации в России // Информационно-статистический материал «Статистика науки и образования». Выпуск 3. 2018.
9. Россия в цифрах. 2020: Краткий Статистический сборник /Росстат-М., 2020г. – 550с.

УДК 101+378

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИНАХ

П.М. Гламаздин, Н.Е. Журавская<sup>1</sup>

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

e-mail: <sup>1</sup> [nzhur@ua.fm](mailto:nzhur@ua.fm)

*Комплексные учебные дисциплины такие как «Теплоэнергетические установки», «Тепло-снабжение», «Теплогенерирующие установки» и другие, подобные этим, обычно предусматривают в учебных планах экскурсии на действующие объекты. Но экскурсии в лучшем случае дают студентам общее представление о сложности и составе объекта, но не дают возможности осознать взаимосвязи между отдельными элементами изучаемого объекта. Организация лабораторных работ на этих объектах позволяет студентам не только охватить общее устройство, но и в результате измерений параметров, протекающих в отдельных элементах объекта процесса, осознать взаимосвязи между этими процессами.*

**Ключевые слова:** учебный план, комплексные технические дисциплины, лабораторные работы, действующие объекты, реальные объекты.

## FEATURES OF ORGANIZATION OF LABORATORY WORKS IN COMPLEX TECHNICAL DISCIPLINES

P. Glamazdin, N. Zhuravska<sup>1</sup>

Kiev National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

e-mail: <sup>1</sup> [nzhur@ua.fm](mailto:nzhur@ua.fm)

*Complex academic disciplines such as "Heat power plants", "Heat supply", "Heat generating plants" and others like these, usually include excursions to existing facilities in the curriculum. But excursions, at best, give students a general idea of the complexity and composition of the object, but they do not give the opportunity to understand the relationship between the individual elements of the object under study. The organization of laboratory work at these objects allows students not only to cover the general structure, but also as a result of measuring the parameters of the process occurring in the individual elements of the object, to realize the relationship between these processes.*

**Keywords:** curriculum, complex technical disciplines, laboratory work, active objects, real objects.

**Введение.** Массовые распространения смартфонов и всепроникающее влияние интернета привели не только к положительным явлениям, таким как расширение и упрощение доступа к различной информации, в том числе и технической, но и к некоторым отрицательным последствиям в том числе и развитию у значительной части молодежи так называемого «клипового мышления», когда человеку тяжело воспринимать целиком какой-либо сложный объект и понимать взаимосвязи между отдельными элементами этого объекта. В результате у студентов возникают трудности с усвоением таких комплексных дисциплин как «Теплогенерирующие установки», «Теплоснабжение», «Строительная теплофизика», «Теплоэнергетические установки» и другие, в структуре которых наличествует много элементов с одновременно

протекающими различными физическими процессами, но которые тесно связаны между собой, представляют единое целое. Одним из способов преодоления этих трудностей может быть введение в учебные программы на младших курсах дисциплины «Системный анализ» в качестве обязательной с разделом «Функционально-стоимостный анализ». Другим направлением преодоления трудностей в восприятии комплексных технических дисциплин может быть организация лабораторных работ на действующих объектах.

Подобный опыт имелся в прошлом. Например, в Московском энергетическом институте проводились лабораторные работы по дисциплине «Котельные установки и парогенераторы» в котельной учебно-экспериментальной ТЭЦ МЭИ [1]. Однако такие возможности были и остаются в единичных учебных заведениях. На таких объектах на стадии проекта предусматривались возможности проведения лабораторных работ с соответствующим приборным обеспечением.

В обычных промышленных объектах, в том числе теплоэнергетических, подобные возможности не предусматривались, да и приборное обеспечение не обеспечивало подобных возможностей. Однако, в последнее время положение изменилось. Во-первых, произошли изменения в приборном обеспечении самих объектов – появились приборы с большой точностью измерений и возможностью запоминания больших объемов данных измерений. Во-вторых, появилась необходимость в точной фиксации расходов энергоносителей и теплоты, что привело к повсеместному оснащению теплогенерирующего и теплоиспользующего оборудования коммерческими узлами учета расходования и отпуска энергии. Эти обстоятельства послужили основой для разработки методик проведения лабораторных работ на базе действующего оборудования. Появление надежных и малоразмерных переносных измерительных приборов с функциями нормирующих преобразователей и автоматической программируемой обработкой передачи данных к стационарным компьютерам послужили дополнительным стимулом к разработке новых лабораторных работ.

**Основная часть.** Проведение лабораторных работ на действующей теплогенерирующей отопительной установке дает возможность провести ряд измерений, последующая обработка которых позволит студентам лучше усвоить взаимосвязь разных элементов котельной и влияние эффективности работы отдельных ее подсистем на эффективность ее работы в целом. Например, два простейших замера – измерение расхода газа на входе в котельную установку и измерение количества теплоты, отпущенной котельной, позволяют определить удельный расход топлива на генерирование теплоты в ней и, соответственно, ККД брутто котельной ( $\eta^{к.у.бр}$ ), используя данные по теплотворной способности газа, получаемые у обслуживающего персонала котельной в виде копии справки о  $Q_{н}^p$  от газоснабжающей организации [2]:

$$\eta^{к.у.бр} = q_1 = [100 \cdot Q_1] / [B \cdot Q_{н}^p] \quad (1)$$

где  $Q_1$  – отпущенное количество теплоты;

$B$  – расход газа;

$Q_{н}^p$  – низшая теплотворная способность газа;

Из полученных данных можно получить расход теплоты на собственные нужды.

$$Q_{сн}^{к.у.} = B \cdot Q_{н}^p - Q_1 \quad (2)$$

При этом собственные нужды котельной будут включать в себя

$$Q_{сн}^{к.у.} = Q_1 + Q_d + Q_y + Q_{хн} + Q_{п} \quad (3)$$

где  $Q_d$  – расход теплоты на деаэрацию подпиточной воды;

$Q_y$  – расход теплоты на умягчение подпиточной воды;

$Q_{\text{зд}}$  – расход теплоты на отопление здания котельной и ГВС;

$Q_{\text{п}}$  – потери в трубопроводах, арматуре и прочее.

Расход теплоты на процессы химической подготовки воды в первом приближении можно получить, измерив расход воды на подпитку и замерив соответствующие температуры в деаэраторе и натрий-катионитовых фильтрах. Расходы теплоты на хозяйственные нужды можно получить, измерив соответствующие расходы воды в системах отопления с помощью накладных ультразвуковых расходомеров и датчиков температуры, а потери  $Q_{\text{п}}$  можно взять в справочной литературе, например, в [3]. Используя современный газоанализатор, студенты могут получить возможность измерить напрямую ККД котла нетто, а также и определить его экологические характеристики. Газоанализатор дает возможность определить одновременно и потерю с уходящими  $q_2$ . Точность определения этой потери можно проконтролировать при помощи электронных дифференциальных манометров и датчиков температуры, помещенных в газоход за котлом.

Отдельная лабораторная работа может быть посвящена определению потерь теплоты через обмуровку  $q_5$ . Для этого можно использовать фактические параметры, производя измерения в центрах квадратов на обмуровке котла, полученных предварительной разбивкой площади каждой стены котла и отдельно свода и (если такая возможность есть) пода котла. Затем определяются теплотери расчетным путем с использованием расчетного аппарата теории теплопередачи для естественной конвекции. В этой же лабораторной работе можно провести контроль правильности выбранной степени черноты поверхности обмуровки, введенной в оптический пирометр перед началом измерений, произведя измерения температуры в центре доступных квадратов при помощи контактных датчиков температуры. В этой же лабораторной работе можно с помощью тепловизора показать повреждения обмуровки внутри котла, наличие которых можно определить только в инфракрасном спектре (рисунок 1). Получив данные по  $q_2$  и  $q_5$ , используя уравнение обратного теплового баланса (для газа) [4], можно определить потерю от химического недожога  $q_3$ .

$$\eta_{\text{обр}} = 100 - q_2 - q_3 - q_5 \quad (4)$$

где  $q_2, q_5, \eta_{\text{обр}}$  – измеренные величины.

Кроме того, имея данные состава продуктов сгорания, полученные с помощью газоанализатора, можно определить  $q_3$  расчетным путем [4] и сравнить с опытными данными.

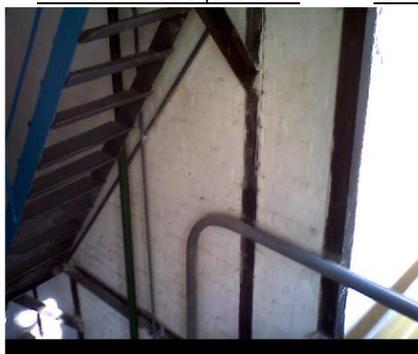
Опыт проведения подобных лабораторных работ показал, что усвоение знаний по дисциплине «Теплогенерирующие установки», довольно сложной для восприятия в связи с большими объемами разнородных процессов, протекающих в таких установках, значительно углубилось.

Если есть возможность проводить лабораторные работы в котельной с присоединенной четырехтрубной системой теплоснабжения, то в ней можно провести и работы по дисциплинам «Теплоснабжение» и «Горячее водоснабжение». В первом случае можно определить соотношение нагрузок на отопление и горячее водоснабжение, используя имеющиеся на выходах теплосчетчики и расходомер холодной воды для системы ГВС. Для системы ГВС можно так же определить потери теплоты в циркуляционном водопроводе (в случае закрытой системы). Имея соотношение нагрузок можно определить и удельный расход топлива на каждую из систем.

Фронтальная поверхность



Боковая поверхность



Поверхность конвективной части



Изображение в видимом спектре

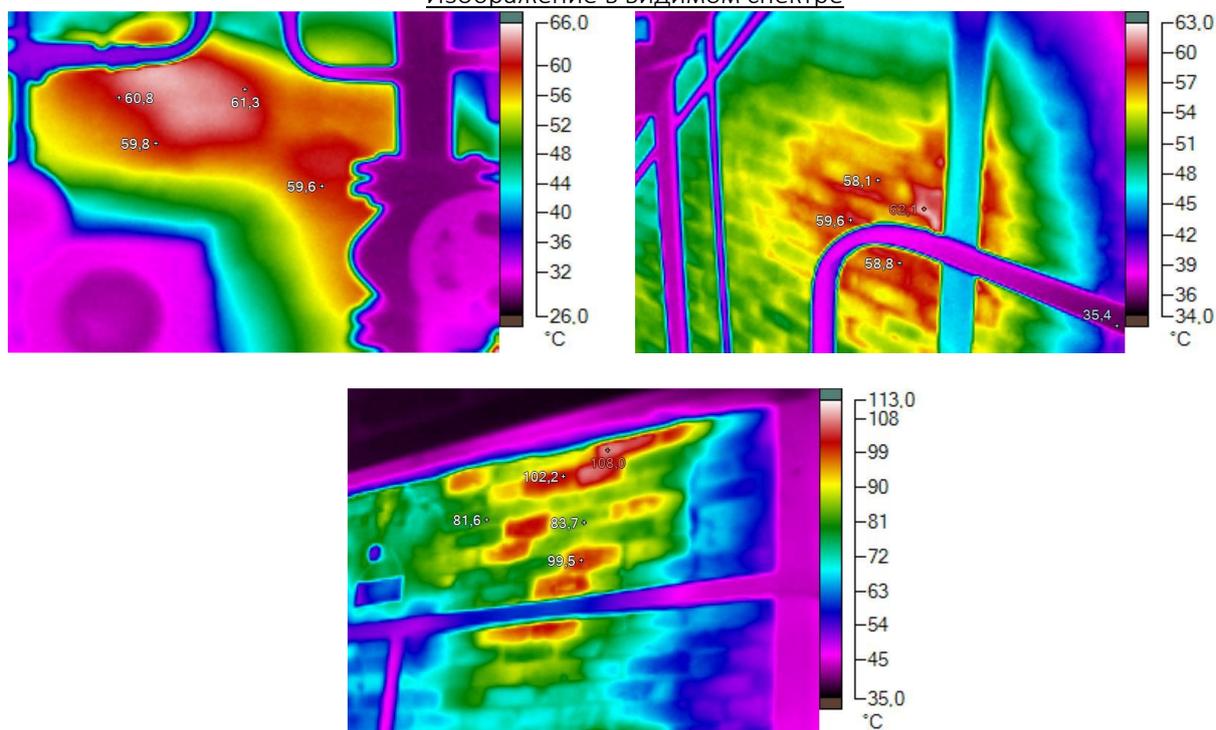


Рисунок 1. – Результаты тепловизионного контроля наружных поверхностей обмуровки котла

В дисциплине «Теплоснабжение» можно проводить лабораторные работы в действующих индивидуальных тепловых пунктах. Например, используя накладной расходомер, измерить потоки теплоносителя из обратной трубы в подающую через трехходовый смесительный клапан на подающей магистрали. Кроме того, используя тот же накладной расходомер можно показать работу системы автоматического управления режимом теплового пункта по «приоритету горячего водоснабжения». Такие работы у нас проводятся в тепловых пунктах зданий университета.

Есть работы, которые невозможно провести в течении отпущенного для их проведения двух-четырёх часов учебного времени. Это работы, которые показывают управление тепловым пунктом, в смысле применения потребления теплоты на нужды отопления и вентиляции в зависимости от температуры наружного воздуха или с изменением потребления теплоты на нужды горячего водоснабжения в течении суток. Такие работы проводятся на лабораторном стенде, включающем все элементы реального теплового пункта, но с возможностью имитации реальных изменений нагрузки в ускоренном режиме. Источником теплоты в этом случае слу-

жит электрический водонагреватель. Полученные результаты студенты сравнивают с результатами по потреблению теплоты, зафиксированными в индивидуальных тепловых пунктах в учебных корпусах и общежитиях университета.

Подобный подход дает возможность глубже осознать связь режимов работы тепловой сети с режимами работы внутренних инженерных систем и принципами функционирования системы автоматического управления индивидуального теплового пункта.

Особняком стоят лабораторные работы по дисциплине «Строительная теплофизика». Лабораторными работами предусмотрено исследование температурного поля в ограждающих конструкциях зданий, как светопрозрачных, так и непрозрачных. Для непрозрачных ограждений предусмотрено исследование температурного поля в трех вариантах конструкций – в простенке между окнами, в глухой стене длиной 6 метров без окон (посередине) и в месте примыкания двух стен (угол). В этих местах в стены заложены термопары градуировки ХК по пять штук начиная с наружной поверхности стен на расстоянии 10 мм от поверхности и до внутренней поверхности через каждые 15 мм. Термопары выведены на измерительные преобразователи, которые преобразовывают и усиливают их сигнал в нормированный сигнал 0-10V и передают в компьютер, в котором эти сигналы фиксируются, запоминаются и выводятся на дисплей в виде распределения температур по толщине стены. Программа обработки данных позволяет строить графики изменения температурного поля по времени.

Таким образом, студент может получать картину температурного поля, зафиксированную во время лабораторной работы и в дальнейшем развитии на протяжении суток. Более того, проведение работы предусмотрено в два этапа на протяжении семестра – во время отопительного сезона при отрицательной температуре наружного воздуха и при положительной температуры на уровне  $\sim 20$  °С. Это дает ему возможность осознать характер изменения температурного поля в стене на протяжении года.

Для изучения температурных полей в светопрозрачных ограждениях – окнах, в помещении лаборатории одно окно выполнено с двойным стеклопакетом, а другое - с одинарным. На наружном стекле со стороны атмосферного воздуха, закреплены по три термопары на обоих окнах. Точно также закреплены по три термопары и на внутренних стеклах со стороны помещения лаборатории. Термопары прикрыты толстым стеклом, как показано на рисунке 2, со специальной канавкой с тем, чтобы их можно было извлечь для поверки.



Рисунок 2. – Размещение термопар на светопрозрачных ограждениях

Термопары выведены на компьютер также, как и для непрозрачных ограждений. Термопары выбраны в качестве датчиков температуры, из-за малых размеров их рабочих спаев («корольков») и большого быстродействия, которое дает возможность оценить влияние солнечного излучения на температурное поле окон. Типичная картина изменения температур окон при затемнении тучами солнца и без подобного затемнения показана на рисунке 3.

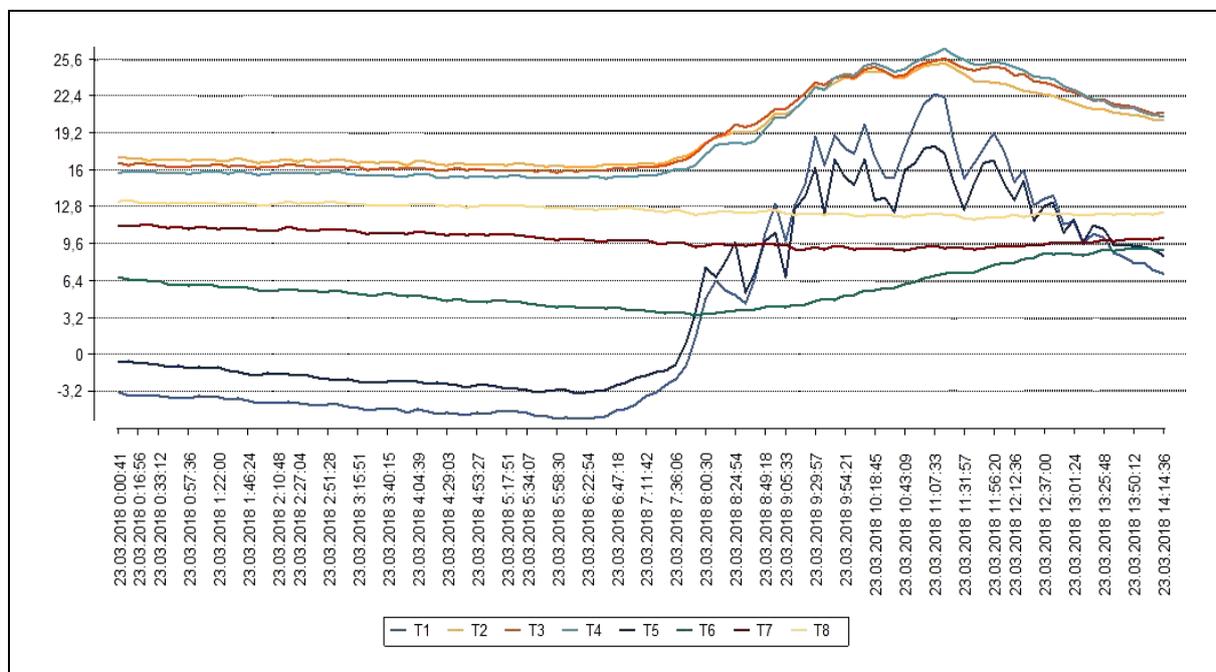


Рисунок 3. – Типичная картина изменения температур окон при затемнении тучами солнца и без затемнения

**Заключение.** Опыт разработки и использования лабораторных работ для комплексных учебных дисциплин на базе реальных объектов на протяжении нескольких лет показал, что подобные работы способствуют углубленному усвоению студентами информации и пониманию процессов, протекающих в элементах реальных объектов и их взаимосвязей.

Кроме того, использование новейших измерительных приборов позволяет познакомить студентов с последними новинками в области информационно-измерительной техники.

Используя уже накопленный опыт, разрабатываются новые лабораторные работы, которые позволят расширить номенклатуру учебных дисциплин, в которых будет использоваться уже предложенный материал.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Испытание оборудования котельного отделения. Лабораторный практикум по курсу «Котельные установки и парогенераторы» под редакцией Линова Ю.М. Московский энергетический институт, 1987. – 68 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) под ред. Н.А. Кузнецова. – М.: Энергия, 1973.
3. Либерман Н.Б. Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного теплоснабжения / Н.Б. Либерман, М.Т. Нянковская. – М.: Энергия, 1979. - 224 с.
4. Янкелевич В.И. Наладка газомазутных промышленных котельных / В.И. Янкелевич. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 216 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

СОСТАВ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА .....	4
СОСТАВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА.....	5

### Секция I

#### АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

<i>Духанов С.С.</i> ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ПРИЕМОВ НАРОДНОГО ЗОДЧЕСТВА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПОСЛЕВОЕННОЕ ДЕСЯТИЛИТИЕ (1946–1956 гг.) .....	6
<i>Дергунов С.А., Спирина А.Ю., Аблязова И.В., Махина Д.С.</i> АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СВОЕВРЕМЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЛОЯ ИЗНОСА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ .....	14
<i>Жуков Д.Д., Змитрович Д.П.</i> ДИЗАЙНЕРСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ НЕДОСТАТКА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ КВАРТИРЫ .....	18
<i>Кириллова И.Л., Барановская А.Д.</i> ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НАВИГАЦИИ ТОРГОВОГО ЗАЛА СЕТИ МАГАЗИНОВ «НИКА» .....	26
<i>Михальков В.С., Латышев С.В.</i> БЛАГОУСТРОЙСТВО ВНУТРЕННИХ ПРОЕЗДОВ, ТРОТУАРОВ И ВЕЛОДОРОЖЕК.....	31
<i>Попова А.В., Скидан А.А.</i> СИСТЕМА ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ВО ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ.....	36
<i>Самутина Н.Н., Захаревич В.Д.</i> РОЛЬ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ОБРАЗА В ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ СРЕДЫ ДЕТСКОЙ ШКОЛЫ ИСКУССТВ.....	43
<i>Сергачев С.А.</i> НОВОПОЛОЦК: ФОРМАТ И ОБРАЗЫ АРХИТЕКТУРЫ ОБЪЕКТОВ ТОРГОВЛИ.....	49
<i>Оденбах И.А., Таурит Е.Б.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «БЕЗОПАСНЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ» В РАМКАХ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ ОРЕНБУРЖЬЯ .....	56
<i>Аимбетов И.К., Бекимбетов Р.Т.</i> К ВОПРОСУ НАДЕЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ НА ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТАХ ОРОШАЕМОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. НУКУСА, УЗБЕКИСТАН) .....	61

### Секция II

#### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

<i>Гиль А.И., Лазовский Е.Д.</i> НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК С ГИБРИДНЫМ АРМИРОВАНИЕМ.....	68
<i>Турищев Л.С.</i> К ВОПРОСУ О КРИТЕРИИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ.....	72
<i>Гламаздин П.М., Черненко А.Д.</i> ВИЗУАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ДЫМОВЫХ ТРУБ С ПОМОЩЬЮ КВАДРОКОПТЕРОВ .....	78
<i>Дуткевич М., Гринев В.В., Мрозик Л., Лампарски Т., Гаевски Ю., Пломиньски Б.</i> АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОСЕВОЙ НАГРУЗКЕ КОЛОНН, АРМИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРОЙ, С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА.....	84
<i>Кремнев А.П., Кремнева Е.Г.</i> ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПЕНОБЕТОНА ПРИ НАДСТРОЙКЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭТАЖЕЙ.....	95

<i>Ладных И.А.</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДЕРЕВЯННЫХ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ СОЕДИНЕНИЯМИ НА «УВ-ОБОЙМЕ» .....	100
<i>Павлова И.П., Беломесова К.Ю.</i> ВЛИЯНИЕ ВИДА ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ С ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИЕЙ РАСШИРЕНИЯ .....	111
<i>Ржевуцкая В.А.</i> РАЗВИТИЕ ДЕФОРМАЦИЙ УСАДКИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА .....	119
<i>Седляр Т.Н.</i> К ВОПРОСУ О СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ АРМАТУРЫ СЕРПОВИДНОГО ПРОФИЛЯ С КЕРАМЗИТОБЕТОНОМ.....	123
<i>Шилов А.Е., Чечуха Е.Г., Янушкевич О.А.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ ПО ДЕЙСТВУЮЩИМ ТНПА РБ И РАЗНЫХ СТРАН.....	127
<i>Глухов Д.О., Лазовский Д.Н., Глухова Т.М.</i> АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТЕРЖНЕВОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ .....	135
<i>Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Будревич Н.А.</i> ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ БЕТОНА ВНОВЬ ВОЗВОДИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР .....	142
<i>Потес Т.А., Леонович С.Н.</i> БЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГРАФЕНОМ .....	147
<i>Кремнева Е.Г.</i> О СОПРОТИВЛЕНИИ СРЕЗА ПО КОНТАКТУ МЕЖДУ БЕТОНАМИ, УКЛАДЫВАЕМЫМИ В РАЗНОЕ ВРЕМЯ.....	151

### Секция III

#### РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

<i>Опанасюк И.Л., Данилов С.В.</i> ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ ПРИ ЕЕ УСИЛЕНИИ ИЛИ ВОССТАНОВЛЕНИИ.....	157
<i>Дергунов С.А., Сатюков А.Б., Спирина А.Ю., Лопонов С.А.</i> БЫСТРОВОВОДИМЫЕ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫЕ ДОРОГИ В МЕСТАХ СИЛЬНОГО ИЗНОСА (НА ПЕРЕКРЕСТКАХ) .....	161
<i>Хвостова А.А., Антоненко Н.Н., Орехов С.А., Дергунов С.А.</i> АКУСТИЧЕСКИЕ ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ .....	167
<i>Бакатович А.А., Бакатович Н.В., Петеренко И.А., Гаспар Ф.</i> ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО ТРОСТНИКА .....	170
<i>Лагизова Т.В., Рубцова В.Н.</i> КОМПОЗИЦИОННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ТВЕРДЕНИЯ .....	177
<i>Полонина Е.Н.</i> ВЛИЯНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА И ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ.....	181
<i>Серикова О.В., Дергунов С.А., Сериков С.В.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛАКОВОГО ЩЕБНЯ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ .....	186
<i>Турчанинов В.И., Кабанова В.В., Махина Д.С.</i> РАЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА УТИЛИЗАЦИИ СЕРНОГО АНГИДРИДА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭС .....	191
<i>Хамидов А., Ёкубов А.А., Умаров И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	198
<i>Хамидов А.И., Ахмедов И., Юсупов Ш., Кузибаев Ш.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСА В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	202

<i>Шевцова Т.И., Махина Д.С., Попова К.А.</i> ЦЕМЕНТОПЕСЧАНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ .....	206
<i>Yagubkin A., Jinbin Y., Zhixu Zh.</i> COMPOSITES BASED ON ORGANIC MATERIALS AND METHODS OF REMOTE CONTROL OF THEIR QUALITY DURING EXPLOITATION .....	211
<i>Хватынец В.А., Парфёнова Л.М.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ .....	216
<i>Романовский С.А., Бакатович А.А.</i> ПЛИТЫ ИЗ ОЧЕСОВ ЛЬНА ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ КАРКАСНОГО ДОМА .....	220
<i>Боровкова Е.С., Шабанов Д.Н., Окунев Д.О.</i> ОЦЕНКА РЕСУРСА ИЗДЕЛИЙ НА ОРГАНИЧЕСКОМ ВЯЖУЩЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	228
<i>Латушко О.О., Шабанов Д.Н.</i> К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ .....	234

Секция IV

**ЭНЕРГОРЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ  
В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

<i>Гламаздин П.М., Гламаздин Д.П.</i> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЛОВ СЕРИИ ПТВМ.....	241
<i>Мельянцова И.И., Самолыго Т.С.</i> ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ.....	245
<i>Ланкович С.В.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ ВОЗДУХО-ВОЗДУШНОГО РЕКУПЕРАТИВНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА .....	249

Секция V

**ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ МИРА,  
ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

<i>Кузякова О.Д.</i> ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО РИСУНКА СТУДЕНТАМ ДИЗАЙНЕРСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ .....	256
<i>Протасевич А.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СТУДЕНТАМИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСА «СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» .....	261
<i>Разумник И.А., Цыбукова Ю.П., Петровская О.Г.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПО ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ.....	264
<i>Яловая Н.П., Яловая Ю.С.</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	269
<i>Кремнева Е.Г., Кушаева Э.Р.</i> ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ В СОЮЗНОМ ГОСУДАРСТВЕ НА ПРИМЕРЕ КАЗАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА И ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА.....	274
<i>Гламаздин П.М., Журавская Н.Е.</i> ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИНАХ.....	279