МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Сборник трудов
XVIII международного научно-методического семинара
(Новополоцк, 28 – 29 ноября 2012 года)

В 2 томах
Том II

Под общей редакцией
д-ра техн. наук, проф. Д.Н. Лазовского
канд. техн. наук, доц. А.А. Бакатовича

Новополоцк
ПГУ
2012

УДК 69(476) (082)
ББК 38(4Беи)я43
П26

Редакционная коллегия:

Лазовский Д.Н., д.т.н., профессор (*сопредседатель*);
Пецольд Т.М., д.т.н., профессор (*сопредседатель*);
Бакатович А.А., к.т.н., доцент (*отв. секретарь*);
Блещик Н.П., д.т.н., профессор; Тур В.В., д.т.н., профессор;
Батяновский Э.И., д.т.н., профессор; Бозылев В.В., к.т.н., доцент;
Борисевич А.А., д.т.н., профессор; Зверев В.Ф., к.т.н., доцент;
Казачек В.Г., д.т.н., профессор; Коньков В.В., к.т.н., доцент;
Колтунов А.И., к.т.н., доцент; Мартынов Ю.С., д.т.н., профессор;
Никитенко М.И., д.т.н., профессор; Пастушков Г.П., д.т.н., профессор;
Пойта П.С., д.т.н., профессор; Семенюк С.Д., д.т.н., профессор

П 26 **Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь** : сб. тр. XVIII междунар. науч.-метод. семинара : в 2-х т., Новополоцк, 28 – 29 ноября 2012 г. / под общ. ред. Д.Н. Лазовского, А.А. Бакатовича. – Новополоцк : ПГУ, 2012. – Т. II. – 344 с.

ISBN 978-985-531-356-5.

Рассматриваются вопросы, посвященные проблемам энерго- и ресурсосберегающих технологий производства строительных материалов и изделий. Включены результаты научно-исследовательских работ в области механики грунтов, оснований и фундаментов. Отдельные статьи посвящены вопросам совершенствования подготовки инженерных кадров в строительстве.

Предназначен для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей высших учебных заведений.

УДК 69(476) (082)
ББК 38(4Беи)я43

ISBN 978-985-531-356-5 (Т. II)
ISBN 978-985-531-354-1

© Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет», 2012

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 666.972.6

Опекунов В.В., д-р техн. наук, проф.; Самуйлов Ю.Д.; Хожовец Е.Б.
(БНТУ, г. Минск)

ТЕПЛОЭФФЕКТИВНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

В странах Содружества Независимых Государств (СНГ) сложилась ситуация, при которой большинство объектов гражданского назначения не могут быть отнесены к энергоэффективным, так как имеют годовое потребление тепловой энергии (УПТЭ) на уровне УПТЭ = 100 – 200 кВт·ч/м^2.

Научно-техническая политика в области строительства, проводимая в Республике Беларусь, включает переход на конструктивные схемы (системы) энергоэффективных объектов, которые предполагают массовое использование изделий из пористых бетонов (ПБ; термин введен в работе [1]). В Беларуси производят ПБ в основном в виде различных ячеистых бетонов [1 – 4]. Установившиеся термины в области ячеистых бетонов на основе различных вяжущих систем приняты в СТБ 1570 «Бетоны ячеистые. ТУ».

Изделия из ячеистых бетонов средней плотностью $\rho \leq 800$ кг/м^3 относят к теплоэффективным.

В работе [3] рассмотрены вопросы, связанные с производством ячеистых бетонов. Там же рассмотрен смысл терминов «ячеистый бетон автоклавного твердения» (ЯБАТ; допустимо – автоклавный ячеистый бетон) и «ячеистый бетон неавтоклавного твердения» (ЯБНТ; допустимо – неавтоклавный ячеистый бетон). В СТБ 1310-2002 «Бетоны. Классификация» в п. 4.6 (классификация по условиям твердения) нет понятия «бетон неавтоклавного твердения» и «неавтоклавный бетон», но есть «бетон автоклавного твердения».

В Республике Беларусь индустриальным способом производят в основном разновидность ЯБАТ в виде газобетонов автоклавного твердения (ГАТ). Основные ПБ и номенклатура изделий из ПБ представлены в работе [3].

В технологиях производства ГАТ и цементного ЯБНТ (цементного газобетона (ЦГБ) или цементного пенобетона (ЦПБ)) реализованы различные принципы микро(нано)структурообразования, поэтому эти бетоны имеют

разнящиеся свойства [3]. Вследствие действия ряда причин изделия из ЦПБ в Беларуси индустриальным способом не производят.

В работе [4] показано, что когезионная прочность ПБ существенно зависит от факторов, описывающих структурно-механические свойства цементирующей матрицы, плотного микрозаполнителя (МЗ) и контактного слоя между ними: R_a – функции, характеризующей прочность адгезионного контакта «МЗ – матрица»; R_m – функции, характеризующей когезионную прочность матрицы; R_c – параметра, характеризующего когезионную прочность МЗ; A – параметра анизотропии; D – параметра однородности.

Прочность зависит также от уровня эксплуатационной влажности, параметров среды эксплуатации (L; СТБ 1544-2005 «Бетоны конструкционные тяжелые. ТУ»), температуры и скорости приложения нагрузки.

В синтетических (ЯБАТ) и гидратационных (цементные ЯБНТ) ячеистых бетонах образуются в основном минералы – гидросиликаты кальция (ГСК) с различной степенью закристаллизованности. При наличии в составе формовочной смеси алюмосиликатных МЗ при тех же условиях происходит и синтез гидрогранатов [3; 4].

Поисковые эксперименты показали, что применение алюмосиликатных горных пород в виде, например, активированных гранитоидов позволяет получать ЦГБ с удовлетворительными физико-техническими свойствами (рис. 1). В ЦГБ необходимый уровень R_a при высоком уровне R_m и R_c обеспечивается вследствие наличия у кристаллического гранитоидного МЗ активных центров (по Льюису) и некомпенсированных связей, образовавшихся после измельчения и активации крупных частиц (МЗ приобретает состояние термодинамической неустойчивости и повышенной химической активности).

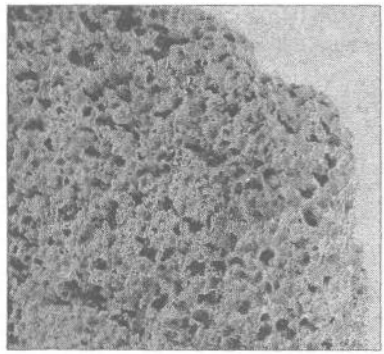


Рис. 1. Фрагмент образца цементного газобетона ($\rho = 380$ кг/м^3) на основе активированных гранитоидов

Не исключено также применение в составе ЦГБ цемента с гранитной миндобавкой (научный руководитель разработки в БНТУ – д-р техн. наук, профессор Э.И. Батяновский).

Уровень прочности (R) автоклавных (синтетических) и неавтоклавных цементных (гидратационных) ячеистых бетонов при использовании активированных МЗ может быть повышен не только за счет формирования улучшенного фазового состава новообразований и увеличения R_m, а также и вследствие повышения R_a.

Анализ ТНПА показывает, что в странах СНГ наблюдается несогласованность при нормировании качества МЗ по содержанию SiO_2 [4]. «Смягчение» требований к качеству кремнеземистого МЗ (см. ТКП 5.03-137-2009) и возможные проблемы с обеспечением необходимого давления автоклавирования (многие автоклавы выработали ресурс) приведут к снижению класса ГАТ по прочности на сжатие. Особенно заметным это явление будет при производстве изделий из теплоизоляционного (ТИ) ГАТ ($\rho < 400$ кг/м^3) на кальциевой извести 2-го или 3-го сортов. Сравнительные свойства ЯБАТ и цементного ЯБНТ представлены в работе [2].

Согласно СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции», ГОСТ 24544-81 «Бетоны. Метод определения деформаций усадки и ползучести» и другим ТНПА выделяют деформативные свойства бетонов: деформация усадки (U) и деформация ползучести (U_p).

Вследствие низкого содержания гелеобразной составляющей в ГСК автоклавного происхождения последние подвержены усадке и набуханию в меньшей степени, чем ГСК – продукты гидратации клинкерных минералов. Следует стремиться к синтезу большего количества тоберморита 11,3 Å, так как он имеет пониженную усадку по сравнению с CSH(B) [1]. Кроме усадки при высыхании имеет место и карбонизация ячеистых бетонов.

Некоторые параметры ползучести, набухания, усадки и температурных деформаций каменной кладки (диапазоны значений) представлены в СТБ EN 1996-1-1-2008. Еврокод 6. В ТКП EN 1996-3-2009. Еврокод 6. «Проектирование каменных конструкций. Часть 3. Упрощенные методы расчета для неармированных каменных конструкций» приведена формула расчета прочности расчетного сечения стены при действии вертикального усилия, включающая коэффициент уменьшения для учета в том числе и ползучести.

В Уральском ПромстройНИИпроекте установили, что ползучесть ЯБАТ с учетом изменения микро(нано)структуры вследствие действия атмосферного CO_2 в 1,9 – 2,0 раза превышает ползучесть ячеистых бетонов, определенную без учета карбонизации.

Деформацию набухания ($U_н$) допустимо рассматривать как процесс увеличения объема образца (строительного изделия), имеющий место при

увеличении влажности или параметров L среды эксплуатации. В Eurocode 6 приведены предельные значения усадки ЯБАТ ($U \leq 0{,}4$ мм/м) и набухания от увлажнения ($U_н \leq 0{,}2$ мм/м).

Достаточно исследованы U, U_p, $U_н$ ГАТ с $500 < \rho < 800$ кг/м^3. Уровни U_p и $U_н$ других ПБ (цементных ЯБНТ, перлито- и вермикулитобетонов, керамзитобетонов и т.д.) с $300 < \rho < 500$ кг/м^3 не установлены.

В научно-технической и справочной литературе встречается несколько определений долговечности (ДВ) [4]. В ТР 2009/013/BY введено понятие «период эксплуатации», термин «долговечность» не используется. В СТБ ISO 2394-2007 использовано понятие «условный расчетный срок службы» по отношению к деталям, конструкциям и зданиям. При этом ДВ трактуется как необходимое условие для выполнения требований надежности. В СТБ EN 1996-1-1-2008. Еврокод 6 указывается, что «камни и блоки для предусмотренного срока службы строительного сооружения должны быть достаточно долговечными с учетом основных условий окружающей среды». Проектирование каменной кладки для применения, предусмотренного с учетом основных условий окружающей среды, должно обеспечивать достаточную ДВ (см. EN 1996-2).

Исследованиями ведущих научных центров СНГ установлено, что стены из блоков из ЯБАТ (ГАТ или автоклавного пенобетона) на основе ГСК долговечны без каких-либо специальных мероприятий по защите их фасадных поверхностей. Об этом свидетельствует опыт эксплуатации зданий в развитых странах СНГ, Западной Европы, Прибалтики.

Допустимо в качестве одного из критериев ДВ ячеистых бетонов принять параметр «морозостойкость», который в Беларуси, Украине и России нормируется.

Стены могут быть несущими, самонесущими (СН), в том числе поэтажно опертыми, или с применением навесных панелей. В ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» в Республике Беларусь установлены новые значения сопротивления теплопередаче (R_m) ограждающих конструкций. Согласно ТКП 45-3.02-113-2009 «…системы утепления должны проектироваться с наружной (холодной) поверхности стены…».

В малоэтажном бескаркасном энергоэффективном строительстве наряду с устройством однослойных наружных стен из ГАТ (см. СТБ 1117 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые. ТУ», раздел «Указания по применению и эксплуатации»), альтернативный вариант – монтаж двуслойных стен с $R_T \geq 3{,}2$ м^{2}К/Вт с использованием изделий из стеновых ($\rho > 500$ кг/м^3) и ТИ ($\rho < 400$ кг/м^3) ячеистых бетонов [5].

В многоэтажном строительстве применяют, как правило, разнообразные конструктивные схемы объектов со стенами типа СН. На рисунке 2 представлено техническое решение, в котором блоки выдвинуты с образованием консольных выступов, между которыми размещают ТИ материал (рис. 3).

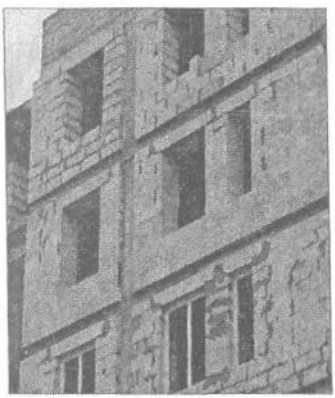


Рис. 2. Строящийся дом со стенами с консольными выступами

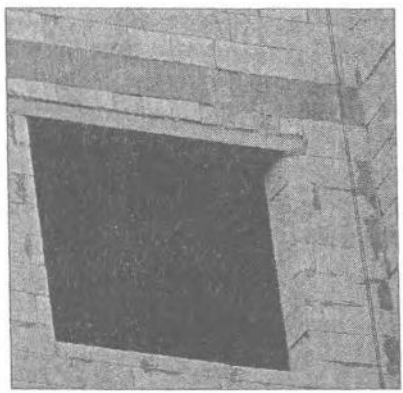


Рис. 3. Утепление узла сопряжения плиты перекрытия и стены с консольным выступом минераловатными плитами

В настоящее время на стадии разработки находится аналогичное техническое решение стены типа СН, позволяющее увеличить консольный выступ (вылет) блоков из ГАТ и повысить за счет этого качество верхнего узла сопряжения стены с плитой перекрытия.

Расчеты показывают, что заполнение увеличенного объема между консольными выступами ТИ материалом с теплопроводностью около 0,07 Вт/(мК) толщиной, например, 180 – 200 мм обеспечивает необходимый уровень теплотехнической однородности стены по высоте здания.

Литература

1. Опекунов, В.В. Пористые бетоны и области их применения / В.П. Лысов, Н.М. Голубев // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – Минск, 2005. – Вып. 1. – С. 10 – 17.
2. Опекунов, В.В. Ячеистые бетоны неавтоклавного твердения / В.В. Опекунов // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3(24). – С. 18 – 21.

3. Опекунов, В.В. Вяжущие системы в производстве ячеистых бетонов / В.В. Опекунов // Проблемы современного бетона и железобетона. Технология бетона: материалы второго междунар. симпоз., Минск, 21 – 23 окт. 2009 г.: в 2 ч. / БелНИИС; редкол.: М.Ф. Марковский [и др.]. – Минск, 2009. – Ч. 2. – С. 329 – 342.
4. Опекунов, В.В. Основные физико-технические свойства ячеистых бетонов автоклавного твердения / В.В. Опекунов // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства: материалы науч.-метод. семинара, Минск, 29 мая 2012 г.: в 2 ч.; БНТУ; редкол.: В.Ф. Зверев [и др.]. – Минск, 2012. – Ч. 2. – С. 96 – 102.
5. Опекунов, В.В. Пористые стеновые и теплоизоляционные материалы для энергоэффективного строительства / В.В. Опекунов // Материалы, технологии, инструменты. – 2012. – № 1 (Т. 17). – С. 49 – 51.

УДК 666.973.2:666.972.1

Давыденко Н.В.; Балыш А.В.; Бакатович А.А., канд. техн. наук, доц.
(ПГУ, г. Новополоцк)
Якубавичюс А.А., д-р наук, доц.
(Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса)

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ УТЕПЛИТЕЛЬ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Основным направлением экономического и социального развития в условиях энергетического кризиса во всем мире является развитие производства эффективных строительных материалов и экономия топливно-энергетических ресурсов.

Эффективность современных теплоизоляционных материалов обеспечивается невысокой плотностью, низким коэффициентом теплопроводности, минимальными затратами энергии, малым сроком окупаемости, а также наличием доступного местного сырья.

Недорогие эффективные теплоизоляционные материалы, в том числе арболит, фибролит, возможно получить на основе отходов деревообработки и растительных сельскохозяйственных отходов. В качестве связующих применяют органические и неорганические вяжущие вещества.

Так, при производстве арболита используют дробленку из хвойных или твердолиственных пород, изготовленную при переработке отходов лесопи-

ления и деревообработки, отходов лесозаготовительной промышленности, мелкую технологическую щепу, станочную щепу, станочную стружку и крупные опилки; отходы переработки дубового экстрактового сырья [1].

Фибролит представляет собой плитный материал, изготавливаемый из неорганического вяжущего вещества и древесной шерсти, получаемой на специальных станках в виде тонких и узких лент. Материал имеет крупнопористое строение с сообщающимися порами, что определяет ряд его свойств, в частности, большую воздухопроницаемость и хорошее звукопоглощение. Шероховатая поверхность фибролита способствует хорошему сцеплению со штукатуркой [2].

На основе использования опилок и натриевого жидкого стекла, модифицированного гексафторсиликатом натрия из отходов полирования стеклоизделий, разработана технология получения теплоизоляционного материала «Силком-И» [3]. Плиты прессуют при температуре 150 °С. Увеличение температуры прессования вызывает деструкцию древесных частиц, что ведет к снижению прочностных показателей материала. Показатель влагопоглощения «Силиком-И» ниже показателя влагопоглощения арболита в 10 раз. Полученный материал обладает высокими показателями био- и огнестойкости.

Существуют разработки поризованного арболита с частичной или полной заменой опилок другими отходами производства. Так, предлагается заменять опилки равным по объему количеством рисовой лузги. Использование рисовой лузги в качестве заполнителя снижает водопотребность арболитовой смеси на 7 – 9 %, плотность на 3 – 5 %, а также фактический расход цемента на 4 %. Добавление в поризованный арболит на рисовой лузге глины в количестве от 40 до 60 кг/м^3 при незначительном увеличении средней плотности способствует улучшению капиллярно-пористой структуры, повышению теплотехнических свойств и снижению усадочных деформаций поризованного арболита [4].

Значительные сырьевые ресурсы образуются в сельскохозяйственном производстве (костра конопли и льна, солома хлебных злаков, стебли хлопчатника и табака).

В работе [5] предложено использовать костру льна для получения прессованных теплоизоляционных изделий в виде плит. Основным компонентом связующего являлось натриевое жидкое стекло. С целью повышения структурной прочности и водостойкости прессованных материалов, жидкое стекло модифицировали раствором бутадиен-стирольного латекса.

В Казанском государственном университете разработаны составы и технология изготовления теплоизоляционного материала на основе рубленой пшеничной соломы длиной 30 – 50 мм, отходов шерсти мехового производства (постриг и рубленый меховой лоскут) и неорганического вяжу-

щего – жидкого стекла. Компоненты наполнителя монофракционны по длине волокна [6].

Наибольшим недостатком существующих теплоизоляционных материалов на растительном сырье является отсутствие обеспечения одновременно высоких механических и теплофизических показателей. Таким образом, поиск высокоэффективных теплоизоляционных материалов на основе растительных отходов производства, обеспечивающих высокие теплофизические и механические свойства с учетом эксплуатационно-технологических показателей, является весьма актуальным. При разработке такого материала особенно необходимо учитывать экологическую безопасность будущих изделий.

В лабораториях кафедры строительного производства Полоцкого государственного университета проведены исследования свойств теплоизоляционного материала на основе рубленой ржаной соломы и костры льна, при этом неорганическим связующим являлось натриевое жидкое стекло.

При определении оптимальных составов костросоломенных плит на начальном этапе варьировали фракцию рубленой ржаной соломы (крупный заполнитель) от 1 см до 6 см, изменяли расход связующего от 1 массовой доли до 1,9 массовых долей от веса заполнителя и давление формования от 0,005 до 0,05 МПа.

На втором этапе исследований для снижения пустотности теплоизоляционного материала и увеличения прочности в состав теплоизоляционной массы вводили костру льна (мелкий заполнитель) фракцией не более 5 мм. Соотношения соломы и костры льна в смеси заполнителя варьировали от 1:0,25 до 1:1. В ходе экспериментов установлены оптимальный расход натриевого жидкого стекла, равный 1,3 – 1,6 массовых долей от массы заполнителя, и величина давления формования, составляющая 0,02 – 0,03 МПа. В таблице приведены оптимальные составы и основные физико-механические показатели теплоизоляционных материалов.

Физико-механические показатели теплоизоляционных плит

№ состава	Заполнитель, масс. доли		Средняя плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие при 10 %-ной деформации, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
	солома	костра льна				
1	1	–	224	0,34	0,92	0,058
2	1	0,4	238	0,7	1,1	0,046
3	1	0,7	250	0,8	1,16	0,049

После установления физико-механических характеристик костросоломенных образцов проведены исследования эксплуатационных характе-

ристик костросоломенных плит. Выполнены исследования по определению огнестойкости плит. В процессе эксперимента плиты подвергались прямому воздействию огня (рис. 1).

В процессе эксперимента костросоломенная плита под воздействием огня не загоралась. Грань плиты, подвергающаяся воздействию пламени, не деформировалась. После отключения горелки горение плиты, т.е. пламени на плите не зафиксировано. Через 40 минут непрерывного воздействия открытого пламени осматривалась поверхность плиты. Область, подвергавшаяся воздействию огня, почернела, костросоломенная смесь обуглилась и разрушилась на глубину 15 мм на поверхности диаметром 55 мм (рис. 2).

Грань плиты, противоположная испытуемой поверхности, не получила каких либо повреждений.



Рис. 1. Воздействие прямого пламени на плиту в процессе испытания



Рис. 2. Внешний вид плиты после испытания

Отсутствие возгорания, т.е. негорючесть костросоломенной смеси, объясняется присутствием в смеси жидкого стекла в качестве вяжущего компонента. На стадии изготовления плит в процессе перемешивания смеси жидкое стекло обволакивает частицы соломы и костры, образуя оболочку, которая и препятствует их возгоранию. При осмотре установлено, что при обугливании соломы происходит спекание жидкого стекла в сростки, также препятствующие возгоранию и разрушению костросоломенного каркаса плиты.

При укладке утеплителя всегда существует необходимость в доборных фрагментах материала, получаемых путем разрезки плит стандартных размеров. В этой связи проведены экспериментальные работы по распилу костросоломенных плит различными видами пил. Результаты опытных распилов показали, что плиты одинаково хорошо подвергаются распилу ручной, циркуляционной и бензопилой как в продольном, так и в поперечном направлениях (рис. 3, 4).

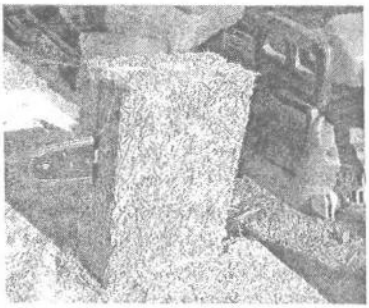


Рис. 3. Распил бензопилой плиты в продольном направлении

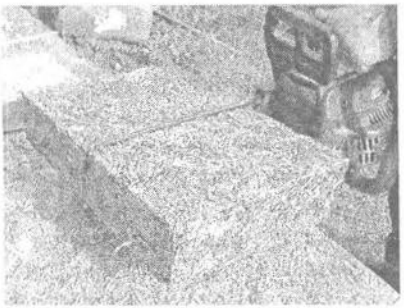


Рис. 4. Распил бензопилой плиты в поперечном направлении

После распила на поверхности плит отсутствуют сколы на углах и ребрах по грани распила. Грань распила имеет сплошную ровную поверхность без раковин и выщерблин. Как показали испытания, толщина отпиливаемой части блока может быть любой. Костросоломенные плиты хорошо сверлятся при помощи ручных и электрических дрелей. Входные отверстия не имеют выщерблин и сколов. Структура костросоломенного каркаса в объеме вокруг отверстия не нарушается.

Начиная с 2011 года проводятся натурные исследования теплофизических свойств теплоизоляционных плит. При строительстве индивидуального одноэтажного кирпичного жилого дома в качестве утеплителя чердачного перекрытия и стен использовали костросоломенные плиты (рис. 5, 6).

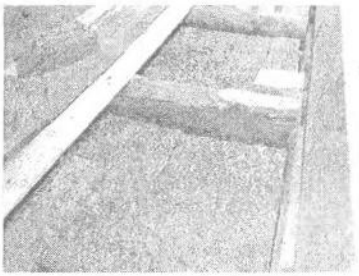


Рис. 5. Костросоломенные плиты на чердачном перекрытии

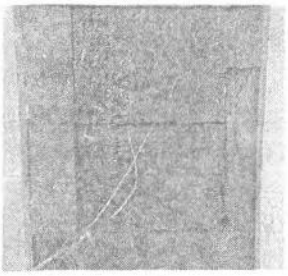


Рис. 6. Костросоломенные плиты в конструкции стены

При закладке утеплителя в конструкцию стены установлены термопары и датчики тепловых потоков (рис. 7).

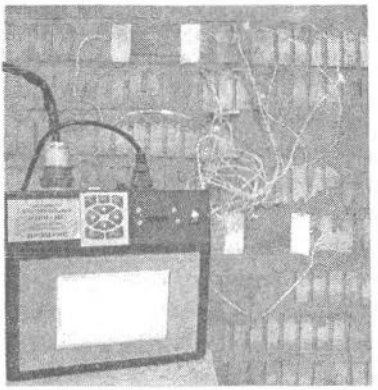


Рис. 7. Измерение температуры и плотности теплового потока контрольно-измерительным комплексом в стене дома

Величины температур и плотностей тепловых потоков фиксируются контрольно-измерительным комплексом РТП-1-16Т через каждые 1,5 минуты. По окончании эксперимента будут получены данные распределения температур по толщине утеплителя и значения плотностей тепловых потоков.

Теплоизоляционный материал на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства – ржаной соломы и костры льна – является экологически чистым и безопасным для жизнедеятельности людей. Применение соломы и костры льна для изготовления костросоломенных плит позволяет решить проблему утилизации растительных отходов сельского хозяйства с наибольшей степенью экономической эффективности для Республики Беларусь.

Проведенные эксперименты подтвердили возможность технологической обработки, эксплуатационную безопасность костросоломенных плит, а также возможность использования костросоломенных плит в качестве утеплителя наружных стен и покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по производству и применению арболита / П.И. Крутов [и др.]; под ред. И.Х. Наназашвили. – М.: Стройиздат, 1987. – 208 с.
2. Китайцев, В.А. Технология теплоизоляционных материалов / В.А. Китайцев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1970. – 384 с.

3. Дубовская, Л.Ю. Разработка композиционного материала целевого назначения на основе мягких отходов деревообработки и модифицированного жидкого стекла: автореф. дис. …канд. техн. наук: 05.21.05 / Л.Ю. Дубовская; Белорусский гос. технолог. ун-т. – Минск, 2008. – 19 с.
4. Щибря, А.Ю. Эффективный теплоизоляционный материал из поризованного арболита на рисовой лузге: автореф. дис. …канд. техн. наук: 05.23.05 / А.Ю. Щибря; Кубанский гос. технологический ун-т. – Ростов н/Д, 2000. – 21 с.
5. Смирнова, О.Е. Теплоизоляционные материалы на основе костры льна: автореф. дис. …канд. техн. наук: 05.23.05 / О.Е. Смирнова; Новосибирский гос. архит.-строит. ун-т. – Новосибирск, 2007. – 18 с.
6. Петров, А.Н. Теплоизоляционные материалы на основе соломы и неорганических связующих: дис. … канд. техн. наук: 05.23.05 / А.Н. Петров. – Казань, 1998. – 178 с.

УДК 666.973.2:666.97.031

Ягубкин А.Н.; Бозылев В.В., канд. техн. наук, доц.; Зеленкевич Д.С.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ И ВЛАЖНОСТЬ АРБОЛИТА, ПОЛУЧЕННОГО ПО РАЗНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

В настоящее время в Республике Беларусь большое внимание уделяется строительству домов в сельской местности, стоят задачи застройки пригородов коттеджами. Для воплощения данных целей в жизнь требуются большие финансовые и материальные ресурсы.

В настоящее время сельские дома строят из кирпича, железобетонных панелей, для решения задач удешевления в домах стены возводят из газосиликатных блоков или из панелей с утеплителем и обшивкой из древесины, сайдинга. Однако каждый из этих видов стеновых материалов имеет свои недостатки. Так, в домах, возводимых из железобетонных панелей, из-за недостаточной влажности в помещениях у жителей обостряются астматические заболевания. В домах со стенами из ячеистых газосиликатных блоков наблюдается плесень, грибок на стенах, что приводит к аллергическим заболеваниям. Кроме того, материалы должны быть экологичными, иметь низкую себестоимость. В условиях рыночной экономики у застройщика должен быть выбор – стеновые материалы должны отвечать новым

современным требованиям по созданию благоприятного микроклимата в жилых помещениях.

Многовековой опыт строительства сельских домов в Беларуси предусматривает использование древесины – это бревенчатые дома, в которых сочетается оптимальный микроклимат: зимой тепло, летом прохладно. Достоинства жилых зданий из древесины признаны строительной наукой. Эти здания приняты за эталон, им присвоен коэффициент комфортности 1 по условиям проживания, микроклимату в помещениях. К недостаткам таких домов следует отнести высокую трудоёмкость строительства, высокую пожароопасность, подверженность гниению деревянных конструкций, а следовательно, требуется постоянный уход и проведение текущих ремонтов.

С учетом вышесказанного следует признать, что в настоящее время незаслуженно забытым является материал на основе древесины – арболит. Арболит относится к числу биостойких и трудносгораемых материалов, имеет высокие теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства, хорошо отделывается цементным раствором, пилится и гвоздится. Материал надежно удерживает крепежные элементы, обладает высоким звукопоглощением, имеет повышенную трещиностойкость, что позволяет при превышении максимально допустимых нагрузок без повреждений переносить осадки здания. Материал обеспечивает необходимый воздухообмен и регулирует влажность в помещениях.

Большое влияние на физико-механические свойства арболита оказывает его влажность [1 – 3]. Для изучения показателей влажности и водопоглощения изготавливались серии образцов-кубов с размером ребра 20 см. В качестве вяжущего использовался Кричевский портландцемент ПЦ500Д0. Сравнительные исследования проводились с добавками: Арбел (авторская разработка) [4], хлористый кальций, жидкое стекло. Расход добавок определялся по методике [5]. Состав компонентов рассчитывался по методике [6] и представлен в таблице 1.

Таблица 1

Составы арболита, модифицированного добавками

№ состава	Цемент ($кг/м^3$)	Щепа ($кг/м^3$)	Вода ($кг/м^3$)	Вид добавки	Кол-во добавки, %
1	350	200	325	–	–
2	350	200	325	Хлористый кальций	2
3	350	200	325	Арбел	5
4	350	200	325	Арбел + С-3	5 + 0,6

Смесь формовалась методом колебательного уплотнения [7]. Методика испытаний образцов на водопоглощение включала следующие этапы. Образцы на 28 суток помещали в камеру нормально-влажностного твердения, затем 7 суток они находились в помещении с влажностью 60 %. Проводилось взвешивание и определение естественной влажности. Затем образцы помещались в воду и выдерживались 7 суток до тех пор, пока не прекращалось изменение массы, затем выполнялось взвешивание. Результаты влияния влажности на плотность и прочность арболита представлены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Дополнительно по результатам испытаний были определены:

– *коэффициент размягчения*:

$$K_{разм} = \frac{R_{сж.в}}{R_{сж.с}}, \quad (1)$$

где $R_{сж.в}$ – прочность на сжатие арболита в водонасыщенном состоянии, МПа; $R_{сж.с}$ – прочность на сжатие арболита в сухом состоянии.

– *коэффициент сохранения прочности* при высушивании до постоянной массы:

$$K_y^R = \frac{R_{сж.с}}{R_{сж.в}}, \quad (2)$$

где $R_{сж.в}$ – прочность на сжатие арболита в естественном состоянии, МПа.

Таблица 2

Результаты определения средней плотности модифицированного добавками арболита в зависимости от его влажности

№ состава	Плотность арболита, высушенного до постоянной массы, кг/м^3	Арболит естественной влажности		Арболит водонасыщенный	
		ρ, кг/м^3	W, %	ρ, кг/м^3	W, %
1	551	615	11,6	922	67,3
2	556	630	13,3	1019	83,3
3	553	619	11,9	934	68,9
4	554	621	12,1	938	69,5

Из таблиц 2, 3 видно, что состав с добавкой хлористого кальция (состав 2) притягивает в естественном состоянии на 2,5 – 3 % больше воды, чем состав с добавкой Арбел (состав 3, 4) и состав без добавки (состав 1)

соответственно. Кроме того, влажность оказывает существенное влияние на прочность арболита. Наибольшую прочность арболит показывает в естественном состоянии. Для арболита без добавки это влажность 11,6 %, а с добавкой Арбел – 11,9 %, с добавкой хлористого кальция – 13,3 %.

Таблица 3

Результаты определения прочности модифицированного добавками арболита в зависимости от его влажности

№ состава	Среднее значение прочности при сжатии арболита, МПа					$K_{разм}$	K_y^R	$\frac{R_{сж.е}}{R_{сж.с}}$
	$R_{сж.с}$	в естественном состоянии		в водонасыщенном состоянии				
		W, %	$R_{сж.е}$	W, %	$R_{сж.е}$			
1	0,97	12,00	1,10	80,00	0,65	0,67	0,88	1,13
2	3,65	15,00	4,20	85,00	2,21	0,61	0,87	1,15
3	3,75	12,50	4,20	80,00	2,19	0,58	0,89	1,12
4	4,19	12,50	4,70	80,00	2,39	0,57	0.89	1,12

Исследование водопоглощения арболита изучаемых составов представлено в таблице 4.

Таблица 4

Результаты определения водопоглощения модифицированного добавками арболита

№ состава	Масса образца, г		Водопоглощение, % по массе	Соответствие нормативному значению (max 20 %)
	высушенный арболит	арболит, после испытания		
1	552	661	18	+
2	551	688	25	-
3	551	660	19	+
4	552	661	19	+

На основании таблицы 4 можно сделать вывод о том, что водопоглощение арболита соответствует нормативным требованиям [8]. Арболит с добавкой хлористого кальция (состав 2) имеет водопоглощение на 5 % больше, чем арболит с добавкой Арбел (состав 3, 4) и арболит без добавки (состав 1). Следовательно, за счёт снижения водопоглощения арболита с добавкой Арбел по сравнению с арболитом, модифицированным добавкой хлористого кальция, возможно снижение теплопроводности и соответственно толщины стеновых ограждений.

Научная библиотека
УО «ПГУ»

В условиях рыночной экономики большое значение имеет степень готовности блоков для их продажи после изготовления. Одним из главных показателей в этом случае является отпускная влажность. Для арболита она составляет 25 % по массе [9]. Чем раньше будет достигнуто значение отпускной влажности, тем меньше будет затрат у производителя по хранению блоков на складе и тем ниже, соответственно, себестоимость блоков.

Механизм перемещения влаги в изделиях из арболита можно представить следующим образом: испарение влаги с поверхности древесного заполнителя, находящегося у наружных граней образца, что обусловливает перепад влажности между внешними слоями древесного заполнителя и внутренними, из-за чего происходит перемещение влаги к поверхности образца и общее снижение влажности материала.

Схематически сушка материалов представляет собой цепь отдельных неразрывно связанных друг с другом процессов, а именно перемещение влаги внутри материала, изменение её агрегатного состояния и удаление с поверхности раздела в окружающую среду [10].

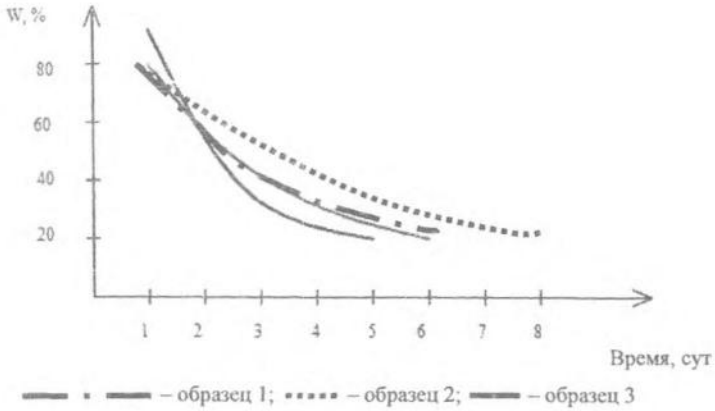
Для испытаний были изготовлены образцы-кубы с размером ребра 20 см из арболита с добавкой Арбел (образец 1), из арболита с добавкой хлористого кальция (образец 2), и образец, выпиленный из сосны (образец 3). Расход компонентов был принят по таблице 1. Образцы высушивались до постоянной массы и погружались в воду на 24 часа, а затем производилась их сушка при температуре 20 °С и влажности воздуха 60 %. Результаты испытаний представлены в таблице 5 и на рисунке.

Таблица 5

Результаты исследования кинетики сушки арболита в естественных условиях

№ образца	Влажность образца, %, через, сут.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	80,0	69,8	41,2	32,3	24,1	20,0	–	–
2	80,0	71,7	54,4	40,1	37,9	25,3	22,1	20,0
3	99,7	68,3	32,5	22,1	20,0	–	–	–

Образец, выпиленный из сосны (образец 3), за сутки набрал почти стопроцентную влажность, но и сушка для него проходила быстро, что позволило через четверо суток иметь влажность 20 %. Образец с добавкой Арбел (образец 1) и образец с добавкой хлористого кальция (образец 2) через сутки имели влажность 80 %. Образец с добавкой Арбел гораздо интенсивнее отдавал влагу, что позволило ему иметь отпускную влажность через 5 суток, в то время как образец с добавкой хлористого кальция достиг её через 7 суток.



Исследование кинетики сушки арболита в естественных условиях

Выполненные исследования позволяют сделать **вывод** о преимуществах использования арболита, полученного по колебательной технологии с использованием добавки «Арбел» в сопоставлении с традиционным арболитом. При этом обеспечивается снижение равновесной влажности, на 5 % водопоглощения и на 25 % времени достижения отпускной влажности.

Литература

1. Борвонов, В.А. Технология стеновых изделий для малоэтажных зданий на основе арболита и вторичных продуктов производства: дис. … канд. техн. наук: 05.23.05 / В.А. Борвонов. – Минск, 2004. – 203 л.
2. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
3. Бужевич, Г.А. Арболит / Г.А. Бужевич. – М.: Изд-во лит. по стр-ству, 1968. – 244 с.
4. Ягубкин, А.Н. К вопросу подбора состава и дозировки добавок-модификаторов арболита / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия F. Прикладные науки. Строительство. – 2010. – № 6. – С. 84 – 89.
5. Ягубкин, А.Н. К вопросу разработки методики экспресс-анализа оценки влияния добавок на прочность арболита / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Серия F. Прикладные науки. Строительство. – 2009. – № 6. – С. 71 – 76.

6. Ягубкин, А.Н. Технология получения стеновых блоков из арболита с направленной укладкой заполнителя / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6. – С. 66 – 69.
7. Ягубкин, А.Н. Оптимизация процесса уплотнения бетонной смеси при изготовлении арболита / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев, Ю.П. Голубев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия F. Прикладные науки. Строительство. – 2009. – № 12. – С. 61 – 68.
8. Арболит и изделия из него. Общие технические условия: ГОСТ 19222-84. – Введ. 01.01.85. – М.: Гос. комитет СССР по делам строительства: НИИЖБ Госстроя СССР, 1985. – 21 с.
9. Блоки стеновые из арболита для малоэтажного строительства. Технические условия: СТБ 1105-98. – Введ. 19.03.1998. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь: РУП «Стройтехнорм», 1998. – 26 с.
10. Галузо, О.Г. Теплоизоляционный пенополистиролгазогипс повышенной влагостойкости, технология изготовления и эксплуатационные свойства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: 08.10.2004 / О.Г. Галузо. – Минск, 2004. – 20 с.

УДК 622.867.322; 614.894

Ехилевский С.Г., д-р техн. наук; Ольшанников С.А.; Потапенко Е.П.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ НА КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ПРОФИЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ CO_2 В РЕГЕНЕРАТИВНОМ ПАТРОНЕ АППАРАТОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНО-РЕМОНТНЫХ РАБОТ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ, НЕПРИГОДНЫХ ДЛЯ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Обычно при математическом моделировании сорбции углекислого газа в изолирующих дыхательных аппаратах пользуются стационарными граничными условиями, означающими постоянство расхода регенерируемого воздуха и концентрации молекул CO_2 на входе в фильтр [1; 2]. Вместе с тем для оптимизации работы аппарата предлагаются устройства с несколькими регенеративными патронами, отличающимися режимами их работы и способом включения в воздуховодную часть [3 – 5]. Очевидно, рабочий процесс в таких аппаратах выходит за рамки традиционных моделей, так как концентрация CO_2 на входе во второй патрон [4] монотонно

возрастает по мере исчерпания поглотительного ресурса первого. Это делает актуальной данное исследование, ибо без адекватного моделирования невозможен предварительный расчет основных параметров новых дыхательных аппаратов для шахтеров и горноспасателей.

Рассмотрим плоскопараллельное течение воздуха через кислородсодержащий продукт. Если объемный расход воздуха Q фиксирован, средняя (по сечению воздушного канала) скорость фильтрации v не зависит от координаты x, растущей в направлении течения:

$$v = Q/S_1, \tag{1}$$

где S_1 – площадь поперечного сечения воздушного канала.

Гранулы продукта малы по сравнению с геометрическими размерами регенеративного патрона, поэтому флуктуационной зависимостью S_1 от x можно пренебречь, что и обеспечивает постоянство v.

Содержание CO_2 в протекающем воздухе задается объемной концентрацией молекул $W(x,t)$, где t – время. Объемный расход воздуха через любое поперечное сечение патрона равен vS_1. Поэтому за промежуток dt в результате хемосорбции на участке от x до $x+dx$ остается

$$dN = [W(x,t) - W(x+dx,t)]v \cdot S_1 dt \tag{2}$$

молекул CO_2. Они накапливаются как в самом воздушном канале,

$$dN_1 = [W(x,t+dt) - W(x,t)]S_1 dx, \tag{3}$$

так и расходуются на изменение химического состава гранул кислородсодержащего продукта

$$dN_2 = [U(x,t+dt) - U(x,t)]S_2 dx, \tag{4}$$

где $U(x,t)$ – объемная концентрация связанного углерода; S_2 – средняя (по длине воздушного канала) площадь поперечного сечения его «стенок».

Заменив фигурирующие в (2) – (4) разности функций их дифференциалами, условие сохранения атомов углерода ($dN = dN_1 + dN_2$) запишем в следующем виде:

$$-vW'_x = (W + \alpha U)'_t, \tag{5}$$

где $\alpha = S_2/S_1$ и определяется плотностью упаковки гранул $\varepsilon = w_2/(w_1 + w_2)$, в которой w_1 и w_2 – суммарные объемы гранул и воздушных каналов соответственно.

Если все гранулы примерно одного размера $\varepsilon \approx 0,6$ и близко к плотности упаковки одинаковых шариков [1], при этом $\alpha = \varepsilon/(1-\varepsilon) = 1,5$.

Дополним (5) уравнением кинетики сорбции:

$$U_t' = \beta(W - \gamma U), \tag{6}$$

где β и γ – феноменологические постоянные, характеризующие скорость и ресурс реакции.

Величина γ определяется тем, во сколько раз в состоянии сорбционного равновесия ($U_t' = 0$) плотность свободного CO_2 меньше, чем связанного. Твердые вещества в тысячи раз плотнее газов, то есть при удачном выборе сорбента $\gamma \approx 10^{-3} - 10^{-4}$. Вместе с тем γ^{-1} можно трактовать как число порций помещающегося в патроне воздуха, которые он может очистить. Если объемы регенеративного патрона и одного выдоха сопоставимы, при длительности выдоха несколько секунд срок защитного действия аппарата будет измеряться в часах.

Поскольку значения β и γ все равно определяются в эксперименте, можно уменьшить число коэффициентов модели, осуществив в (5), (6) следующие замены:

$$\alpha U \to U, \qquad \alpha\beta \to \beta, \qquad \gamma/\alpha \to \gamma, \tag{7}$$

означающие, что при экспериментальном определении нового U количество связанных атомов углерода следует формально относить к объему воздушного канала, а не его стенок. В результате вместо (5), (6) получим:

$$-vW_x' = (W + U)_t', \tag{8}$$

$$U_t' = \beta(W - \gamma U), \tag{9}$$

К моменту исчерпания поглотительного ресурса данного слоя W в нем возрастает до своего значения на входе в патрон. При этом U в соответствии с ранее изложенным оказывается в $10^3 - 10^4$ раз больше. Это означает, что U в работающем слое сорбента растет, по крайней мере, в тысячу раз быстрее, чем W. Исключение составляет начальный промежуток времени, в течение которого первые порции «грязного» воздуха попросту вдуваются в регенеративный патрон, скачком меняя концентрацию CO_2 в воздушном канале. По мере продвижения этих порций к концу патрона в нем формируется квазистационарное распределение W. То есть начальный промежуток времени заканчивается в момент

$$t_{кс} = L/v, \tag{10}$$

где L – длина воздушного канала.

Дальнейший рост концентрации CO_2 в регенерируемом воздухе носит очень медленный (эволюционный) характер и связан с постепенным исчерпанием огромного поглотительного ресурса патрона. По этой причине для времен $t \geq t_{кс}$ первым слагаемым в правой части (8) можно пренебречь.

$$-vW'_x \approx U'_t, \quad t \geq t_{кс}. \tag{11}$$

При этом «неучтенными» за все последующее время работы аппарата оказываются молекулы CO_2, содержащиеся в одной неполной порции неочищенного воздуха, помещающегося в регенеративном патроне. Они расходуются на эволюционный рост концентрации CO_2 в воздушном канале по мере отработки поглотительного ресурса слоев сорбента.

Практический интерес представляют устройства с малыми габаритами и длительным сроком защитного действия, что обеспечивается большой «емкостью» сорбента. По этой причине в существующих аппаратах к моменту протекания первого выдоха через патрон ресурс лобового, а значит и всех остальных слоев сорбента далеко не исчерпан $U(x,t_{кс}) << \gamma^{-1} W(x,t_{кс})$, что позволяет опустить в (9) второе слагаемое при получении квазистационарного распределения $W(x,t)$ в момент его формирования.

$$U'_t(x,t_{кс}) \approx \beta W(x,t_{кс}). \tag{12}$$

При этом неучтенной оказывается одна порция связанного CO_2 (поступившая в патрон первой). Из (11), (12) следует уравнение:

$$-vW'_x(x,t_{кс}) = \beta W(x,t_{кс}). \tag{13}$$

Вместе с граничным условием:

$$W(0,t) = W_0(t) \tag{14}$$

оно определяет зависимость W от координаты к моменту формирования квазистационарного распределения концентрации:

$$W(x,t_{кс}) = W_0(t_{кс}) e^{-\xi(x)}, \tag{15}$$

где $\xi(x)$ – обезразмеренная координата

$$\xi(x) = \beta x / v, \tag{16}$$

обобщенно учитывающая химический состав, структуру и режим работы поглощающего слоя, а $W_0(t)$ – значение W в поступающем в патрон воздухе.

Заметим, что L превышает соответствующий геометрический размер патрона, так как «частицы» воздуха преодолевают в кислородсодержащем продукте своего рода лабиринт.

Относительно существенные изменения $W_0(t)$ должны происходить гораздо медленнее, чем формирование квазистационарного профиля концентрации. В противном случае данная концепция не может использоваться, так как значение $W(x,t)$ в толще продукта будет определяться не столько процессом сорбции, сколько скачкообразными изменениями количества вдуваемых в патрон молекул CO_2. В этом случае динамика сорбции перестает быть задачей математической физики.

Очевидно, обезразмеренная длина патрона

$$\xi(L) = \eta = \beta L / v = \beta w_1 / Q, \tag{17}$$

где w_1 – объем воздушного канала. С объемом регенеративного патрона w он связан соотношением $w_1 = (1-\varepsilon)w$, в котором ε – плотность упаковки гранул кислородсодержащего продукта. В существующих аппаратах на основе надпероксидов щелочных металлов $\eta = 10 - 50$, в чем можно убедиться непосредственно, измерив степень регенерации первых выдохов [6].

Чтобы рассматривать эволюцию W после $t = t_{кс}$, пренебрегать вторым слагаемым в правой части (9) нельзя, иначе квазистационарный профиль (15) останется стационарным. Уравнение (9) является линейным относительно U, и позволяет в общем виде выразить плотность связанного углерода через W:

$$U(x,t) = e^{-\tau(t)} \cdot \gamma^{-1} \int_0^{\tau(t)} e^{\tau} W(x, \tau/\beta\gamma) d\tau, \tag{18}$$

где $\tau(t)$ – обезразмеренное время, введенное согласно

$$\tau(t) = \beta\gamma t. \tag{19}$$

При получении (18) использовано условие:

$$U(x,0) = 0, \tag{20}$$

означающее, что в начале работы патрона сорбент не загрязнен.

Разделим для $t > t_{кс}$ промежуток интегрирования в (18) на две части.

$$\gamma U(x,t) e^{\tau(t)} = \int_0^{\tau_{кс}} e^{\tau} W(x, \tau/\beta\gamma) d\tau + \int_{\tau_{кс}}^{\tau(t)} e^{\tau} W(x, \tau/\beta\gamma) d\tau. \tag{21}$$

Согласно (10), (17), (19) и приведенным выше оценкам в существующих аппаратах:

$$\tau_{кс} \equiv \tau(t_{кс}) = \gamma\eta \approx 10^{-2} - 10^{-3}, \tag{22}$$

что позволяет убедиться в справедливости приближения (12)

$$\gamma U(x,t_{кс}) = e^{-\tau_{кс}} \int_0^{\tau_{кс}} e^{\tau} W(x,\tau/\beta\gamma)d\tau \approx \tau_{кс}\overline{W}(x) << W(x,t_{кс}), \qquad (23)$$

где $\overline{W}(x)$ – среднее значение концентрации CO_2 в точке x за время $t_{кс}$.

То есть сравниваемые в (23) величины отличаются на 2 – 3 порядка.

При получении квазистационарного профиля концентрации (15) мы, опустив второе слагаемое в (9), пренебрегали загрязненностью возникающей до его формирования. Поэтому, чтобы найденная для $t \geq t_{кс}$ функция $W(x,t)$ удовлетворяла «начальному» условию (15), при подстановке γU в (9) следует опустить первое слагаемое в (21):

$$\frac{1}{\beta}U'_t(x,t) = W(x,t) - e^{-\tau(t)} \int_{\tau_{кс}}^{\tau(t)} e^{\tau} W(\xi,\tau/\beta\gamma)d\tau,\ t \geq t_{кс}. \qquad (24)$$

Выполним в (24) интегрирование по частям и при подстановке нижнего предела используем (15)

$$U'_t(x,t) = \beta e^{-\tau(t)}\left[e^{\tau_{кс}} \cdot e^{-\xi} W_0(\tau_{кс}) + \int_{\tau_{кс}}^{\tau(t)} e^{\tau} d_\tau W(x,\tau/\beta\gamma)\right],\ t > t_{кс}. \qquad (25)$$

Для построения искомых зависимостей в обезразмеренных величинах удобно ввести приведенное значение концентрации CO_2 на входе в продукт.

$$\omega_0(\tau) = W_0(\tau)/W_0, \qquad (26)$$

где W_0 - характерный масштаб $W_0(t)$. В частности в качестве W_0 можно использовать максимальное значение $W_0(t)$.

Подставив (26) в (25), а результат в (11), получим уравнение для определения приведенной концентрации CO_2 в регенерируемом воздухе:

$$-\omega'_\xi = e^{-\tau}\left[e^{\tau_{кс}} \cdot e^{-\xi}\omega_0(\tau_{кс}) + \int_{\tau_{кс}}^{\tau} e^{\tau} d_\tau \omega\right], \qquad \tau > \tau_{кс}, \qquad (27)$$

$$\omega(\xi(x),\tau(t)) = W(x,t)/W_0. \qquad (28)$$

При этом U, накопленную после $t_{кс}$ (см. (21)), следует вычислять по формуле:

$$U(x,t) = (W_0/\gamma)u(\xi(x),\tau(t)), \qquad (29)$$

в которой

$$u(\xi,\tau)=e^{-\tau}\int_{\tau_{кс}}^{\tau}e^{\tau}\omega(\xi,\tau)d\tau,\ \tau>\tau_{кс} \tag{30}$$

– приведенная концентрация углерода, связанного после $\tau_{кс}$.

Если $\tau_{кс}$ (которое можно трактовать как момент появления проскока) принять за начало отсчета времени, получим следующее выражение:

$$-\omega'_{\xi}(\xi,\tau)=e^{-\tau}\left[e^{-\xi}\omega_0(0)+\int_0^{\tau}e^{\tau}d_{\tau}\,\omega(\xi,\tau)\right],\ \tau>0, \tag{31}$$

$$u(\xi,\tau)=e^{-\tau}\int_0^{\tau}e^{\tau}\omega(\xi,\tau)d\tau,\ \tau>0. \tag{32}$$

Решение (31) будем искать в виде ряда:

$$\omega(\xi,\tau)=e^{-\xi-\tau}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{f_n(\tau)}{n!}\xi^n, \tag{33}$$

где $f_n(\tau)$ – неизвестные функции, подлежащие определению.

В частности, если на вход в патрон поступает постоянная концентрация CO_2 ($\omega_0(\tau)=1$), получаем известный результат (см. (10) в [7]):

$$\omega(\xi,\tau)=e^{-\xi}\left[1+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\xi^n}{n!}\left(1-e^{-\tau}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!}\right)\right], \tag{34}$$

Из (34) следует, что $\omega(0,\tau)=\omega(\xi,\infty)=1$, как это и должно быть. Последнее равенство означает, что при больших временах, когда защитный ресурс кислородсодержащего продукта полностью исчерпан, регенерация воздуха не происходит, и весь углекислый газ проскакивает через регенеративный патрон.

Чтобы окончательно убедиться в правильности развитого формализма мысленно разрежем патрон в точке $\zeta\in(0,\eta)$ и используем значение приведенной концентрации на выходе из первой части патрона, в качестве переменного граничного условия на входе во вторую часть патрона:

$$\omega_0(\tau)=e^{-\zeta}\left[1+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\zeta^n}{n!}\left(1-e^{-\tau}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!}\right)\right]. \tag{35}$$

Делать это можно, ибо $\omega_0(\tau)$ вырастает от $e^{-\zeta}$ до своего максимального значения за время исчерпания ресурса первой части патрона, что, согласно приведенным оценкам, для продукта на основе надпероксида калия в тысячи раз больше времени формирования квазистационарного профиля концентрации CO_2 во второй части патрона.

Решение для второй части патрона будет иметь вид:

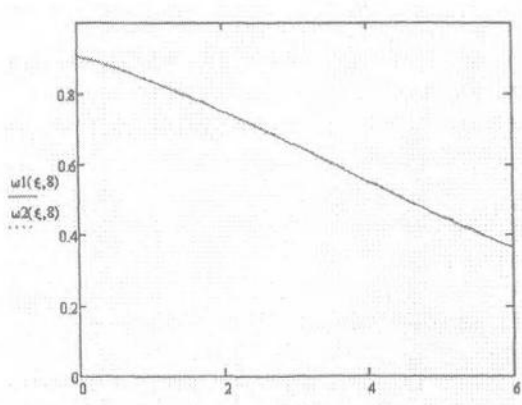
$$\omega 1(\xi,\tau) = e^{-\xi-\zeta}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{\xi^m}{m!}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\zeta^n}{n!}\left(1-e^{-\tau}\theta(n+m)\sum_{k=0}^{|n+m-1|}\frac{\tau^k}{k!}\right). \qquad (36)$$

С другой стороны, поскольку разрезание патрона было формальным и ничего не меняло в сути моделируемого процесса, та же зависимость должна описываться формулой (34), если в нее вместо ξ подставить $\xi+\zeta$.

$$\omega 2(\xi,\tau) = e^{-\xi+\zeta}\left[1+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(\xi+\zeta)^n}{n!}\left(1-e^{-\tau}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!}\right)\right]. \qquad (37)$$

При этом ξ в (37), так же как и в (36), следует менять в пределах интервала $(0,\eta-\zeta)$.

Если развитый подход верен, в указанном интервале изменения ξ правые части формул (36), (37) должны тождественно совпадать, что и подтверждается численными расчетами (рисунок).



Зависимость приведенной концентрации CO_2 от координаты во второй части патрона, построенная с помощью переменного (функция ω1) и постоянного (функция ω2) граничных условий

Таким образом, построен формализм, аналитически описывающий динамическую сорбционную активность при наличии переменной концентрации сорбтива на входе в фильтр. Последнее существенно в регенеративных патронах из нескольких последовательно соединенных частей с отличающимися параметрами сорбентов.

С точки зрения приложений важно также то, что при получении формул не предполагался монотонный рост $\omega_0(0)$. Это значит, что они могут описывать и десорбцию примеси при уменьшении ее концентрации на входе в фильтр.

Литература

1. Дубинин, М.М. Физико-химические основы сорбционной техники / М.М. Дубинин. – М.–Л.: Гос. химико-техническое изд-во, 1932. – 381 с.
2. Пак, В.В. Об использовании ресурса шахтных респираторов с химически связанным кислородом / В.В. Пак, С.Г. Ехилевский // Изв. вузов. Горный журнал. – 1996. – № 1. – С. 66 – 71.
3. Шахтный изолирующий дыхательный аппарат: пат. 628802 СССР, А 62В7/08 / Йи-Шенг Ли, Рудольф Цезарь Леон, Юджин Норман Пери. – № 2322331/40-23; заявл. 16.02.76; опубл. 15.10.78 // Бюл. № 38. – С. 3.
4. Изолирующий дыхательный аппарат: а.с. 1785712 СССР, А 62 В 7/08 / Н.С. Диденко, Т.Е. Инденбаум, С.И. Фастивец (СССР). – № 4884862/23; заявл. 26.11.90; опубл. 07.01.93 // Бюл. № 1. – С. 2.
5. Изолирующий дыхательный аппарат: пат. 23426 Украина, А 62 В 7/08 / С.Г. Ехилевский, В.В. Пак, Э.Г. Ильинский (Украина). – № 96072701; заявл. 08.07.96; опубл. 08.07.98 // Бюл. № 4. – С 3.
6. Пак, В.В. Значения феноменологических параметров модели хемосорбции в регенеративных патронах шахтных респираторов / В.В. Пак, С.Г. Ехилевский, Э.Г. Ильинский // Изв. вузов. Горный журнал. – 1998. – № 11 – 12. – С. 108–112.
7. Ехилевский, С.Г. Повышение ресурса дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде: автореф. дис. … д-ра техн. наук / С.Г. Ехилевский. – Днепропетровск, 2002. – 36 с.

УДК 004.9

Коньков В.В., канд. техн. наук, доц.
(БелНИИС, г. Минск)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ЗДАНИЙ

Перед человечеством сегодня, и тем более в средне- и долгосрочной перспективе, стоит ряд ключевых вызовов, главными из которых являются изменение климата, дефицит ресурсов, обеспечение продовольствием и пресной водой. Поиск решений для них – это дело чести специалистов различных направлений, среди которых особую значимость приобретают инновационные предложения в области строительства. В частности, существенную роль в уменьшении остроты дефицита ресурсов, в том числе и пресной воды, может сыграть сокращение их потребления как в процессе возведения зданий и сооружений, так и при их последующей эксплуатации.

Решающую роль здесь призвана сыграть интеллектуализация объектов. При этом наряду с оптимизацией расходования ресурсов решается задача комплексного обеспечения безопасности, а также задача интерактивного управления системами жизнеобеспечения здания, а, следовательно, повышения качества жизни человека.

Интеллектуализация зданий – не цель, а лишь средство для достижения подлинной конечной цели – оказания услуг и создания продуктов и инфраструктуры, которые были бы эффективными и имели высокое качество. Пренебрежительное отношение к широкому развитию интеллектуализации зданий ведет к низкой эффективности систем жизнеобеспечения зданий, обострению экологических проблем неоправданно высокому расходованию ресурсов и несопоставимо низкому качеству жизни людей [1].

Объемы строительства «умных зданий» постоянно расширяются (например, около 20 % домовладений в США подключены к системе «умный дом»). Интеллектуализация зданий является общемировым трендом. В нашей стране также уже есть значительное количество примеров возведения и функционирования интеллектуальных зданий и сооружений. Это Национальная библиотека Беларуси, «Минск-арена», Минский метрополитен, гостиницы «Европа», «Виктория» и ряд других объектов. Заказчики, тщательно просчитывающие все плюсы и минусы дальнейшей эксплуатации зданий, приняли наиболее оптимальное решение. Темп интеллектуализации продолжит ускоряться. Наша задача – приспособить новые технологии

к запросам потребителей и реалиям нашей экономики, чтобы отвечать на глобальные вызовы.

Осознавая важность и актуальность стоящих задач, Институт БелНИИС проводит системное изучение возможности и целесообразности интеллектуализации как отдельных зданий и сооружений различных типов, так и их совокупности в различном сочетании, используя теорию кластеров.

При этом в качестве основных направлений интеллектуализации зданий приняты комфорт, ресурсосбережение, безопасность, т.е. те основные требования, которые предъявляет к объекту современный потребитель (предприятие, эксплуатирующая организация, частное лицо, отдельный владелец квартиры или квартиросъемщик). Последовательность упомянутых целей на шкале приоритетов для каждого потребителя может быть различной, в зависимости от того, какой из них он отдает предпочтение.

Это, прежде всего, связано с тем, что за период жизненного цикла здания 20 % средств тратится на его возведение, и 80 % средств – на его эксплуатацию. Сразу после ввода здания требуются средства на обеспечение требуемого качества жизни в нем, безопасности проживания.

Таким образом, учитывая вышеприведенное соотношение затрат, экономия 10 % расходов на эксплуатацию здания в финансовом выражении значительно больше, чем экономия 10 % расходов на его возведение.

Реализация первой из поставленных целей – комфорта (качества жизни или работы в отдельных помещениях различного назначения или в здании в целом) – обеспечивается путем установки отдельных устройств и систем, контролирующих и поддерживающих заданный уровень температуры и влажности воздуха, содержания в нем тонкодисперсных частиц, окиси и двуокиси углерода, других газов (в зависимости от конкретных требований производства).

Обеспечение безопасности нахождения как в отдельных помещениях, так и во всем здании осуществляется путем установки систем пожарной сигнализации и защиты, систем защиты от проникновения, систем видеонаблюдения, систем мониторинга состояния несущих конструкций зданий и других конструкций и систем (электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения, вентиляции и в целом климат-контроля, лифтового оборудования и др.). Особую актуальность мониторинг состояния несущих конструкций приобретает для высотных зданий, а также для уникальных зданий и сооружений, которые во все большем количестве строятся в Беларуси.

Задача ресурсосбережения, т.е. экономии энергетических, материальных, трудовых, финансовых ресурсов в процессе всего жизненного цикла

здания, а в конечном счете минимизация общих затрат на содержание здания, решается путем установки таких режимов функционирования вышеуказанных систем обеспечения комфортности и безопасности пребывания в здании, которые соответствовали бы принципу разумной достаточности. Например, в период отсутствия в квартире людей нет необходимости поддерживать в ней комфортную температуру, она может быть установлена накануне прихода жильцов вечером в заданное время, или при срабатывании входной двери, или включаться хозяином путем подачи сигнала через мобильный телефон или интернет. Система вентиляции включается при достижении одним из показателей загрязненности воздуха установленного граничного значения, после достижения безопасных значений содержания двуокиси углерода или пылевидных частиц система отключается.

Для получения еще большего экономического эффекта необходима диспетчеризация, причем не только отдельных систем в пределах здания, например, пожарные извещатели и спринклерные устройства, или термодатчики, рекуператоры, системы подогрева, но и вывод всех систем интеллектуализации здания на единый диспетчерский пункт для обеспечения своевременного принятия соответствующих превентивных и корректирующих мер при возникновении нештатной ситуации.

Дальнейшим шагом в интеллектуализации зданий и сооружений, ведущим к снижению финансовых затрат на их содержание и безотказное функционирование, является создание диспетчерских центров, объединяющих группы зданий, кварталы или даже микрорайоны, оперативно направляющих действия централизованных сервисных служб, обеспечивающих комфортное и безопасное пребывание на этих объектах.

На данный момент технический уровень представленных на рынке Беларуси средств автоматизации позволяет решить практически любую задачу, которая может быть поставлена потребителем. Нет технических препятствий даже для самой высокой ступени интеллектуализации зданий (вплоть до проведения постоянного анализа продуктов жизнедеятельности проживающих в данном помещении людей и отсылки этих данных в соответствующее медицинское учреждение, с получением затем рекомендаций по корректировке режима питания, физической нагрузки, по приему лекарственных препаратов и т.п.).

Однако не следует без особой необходимости увлекаться избыточной автоматизацией зданий. Прежде всего необходимо руководствоваться принципом разумной достаточности.

Это становится возможным при применении системного инструмента, позволяющего выбрать оптимальное решение в каждом конкретном случае, исходя из представлений будущих владельцев строящегося здания о требуемой степени комфорта, безопасности нахождения в нем и об объеме финансовых средств, которые он готов на это потратить. Следовательно, стоит задача выбрать приемлемое для них соотношение «цена – качество».

Создание такого инструмента ведется. Начата разработка рекомендаций по проектированию, строительству и эксплуатации интеллектуальных зданий. После периода практической апробации данных рекомендаций будет осуществлен следующий шаг – разработка комплекса Технических нормативных правовых актов (стандартов, технических кодексов установившейся практики), регламентирующих применение интеллектуальных систем для различных типов зданий, сооружений, и даже обязательное применение этих систем в определенных, специально оговоренных случаях, в которых может быть достигнут максимальный гарантированный экономический и социальный (безопасность, повышение комфортности проживания) эффект. Необходимо также создание законодательной основы, активно стимулирующей внедрение высокоэффективных технологий, в том числе интеллектуализации объектов.

Немного направлений обладает таким преобразующим потенциалом, как интеллектуализация зданий. Мы вступаем в эру технологий, дружественных человеку, повышающих его качество жизни, безопасность при одновременном снижении потребления всех видов ресурсов. В основе этого движения – мобильность, широкополосная связь и облачные вычисления, чей синергетический эффект меняет мир вокруг нас, открывая принципиально новые возможности для людей, экономики и общества в целом.

Интеллектуализация зданий – один из существенных компонентов новой идеологии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального комплекса.

Литература

1. Коньков, В.В. Концептуальные подходы к интеллектуализации зданий и сооружений / В.В. Коньков // Интеллектуальные здания и сооружения. Тенденции и перспективы: материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2012.

УДК 624.012.45

Иваненко А.М., канд. техн. наук
(ПГУ, г. Новополоцк)

АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ИСХОДЯ ИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ СО СТЕНАМИ ИЗ ШТУЧНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Керамические стеновые изделия – проверенный временем строительный материал, который при правильном применении может служить веками. Достоинствами керамического кирпича и камней являются долговечность, комфортность помещений, построенных с их использованием, архитектурная выразительность фасадов зданий. Недостатками считается большой вес изделий, низкие теплозащитные свойства материала.

В настоящее время большое внимание уделяется повышению теплозащитных свойств керамических изделий. Снижение плотности стеновых керамических материалов достигается производством пустотелых изделий, повышением его пористости. При этом важное значение приобретает выбор условий эксплуатации данных материалов.

Опыт эксплуатации существующих зданий показывает, что наиболее подвержены разрушению керамические изделия, расположенные на наружной поверхности в зоне эпизодического увлажнения или водонасыщения. Наиболее часто встречающиеся повреждения представляют собой размораживание кирпичной кладки в цокольной части стен, разрушение парапетов особенно при использовании пустотелых изделий. При этом стеновые материалы зданий, построенных в разные годы, по-разному ведут себя в эксплуатации. Условно можно разделить на два типа: построенные до 50 – 60-х годов и после.

Анализ опыта эксплуатации показывает, что конструкции, возведенные из керамических изделий, произведенных до 50 – 60-х годов прошлого века, получают повреждения только в случае нарушения условий эксплуатации – планировки уровня поверхности грунта, не обеспечивающей отведение поверхностных вод от конструкций зданий, разрушении кровли, отмостки. Тогда как стены зданий, построенные после 60-х годов, могут получить повреждения и при нормальных условиях эксплуатации.

Следует отметить, что по действующим ТНПА [1 – 4] использование полнотелых керамических изделий допускается для возведения фундаментов, цоколей, карнизов, пустотелых изделий для возведения парапетов.

Причинами появления наиболее часто встречающихся повреждений является изменение в 60-е годы технологии формования керамических изделий. Так, были внедрены методы производства керамического кирпича на ленточных прессах [5 – 7]. При этом за счет разности скорости перемещения глиняной массы у стенки ленточного пресса и в центре сечения при продавливании ее через мундштук происходит расслоение глиняной массы, которое при обжиге приводит к образованиию пластинчатой структуры черепка. Известно, что при периодическом замораживании и оттаивании в водонасыщенном состоянии происходит разрушение материала на отдельные пластинки. При постоянном поступлении воды при замораживании полное разрушение кирпича может произойти и за один цикл замораживания.

Таким образом, применение современного керамического кирпича в цокольной части здания, фундаментах, подверженных атмосферным воздействиям, нецелесообразно без устройства гидроизоляции, исключающей контакт материала с грунтом. Тогда как в настоящее время при отсутствии подвала в здании допускается выполнять только горизонтальную гидроизоляцию между фундаментами и несущей конструкцией стены.

Согласно действующим ТНПА в местах примыкания кровли к выступающим частям стен гидроизоляционный ковер поднимают на высоту не менее 250 – 300 мм [8; 9], при этом высота снежного покрова может достигать 600 мм, а у парапета или перепада высоты здания и более. В результате чего при оттепелях возможно водонасыщение кирпичной кладки, попадание талых вод в пустоты изделий, проникновение их к нижерасположенным частям здания.

При этом следует отметить, что среднее количество дней в году с оттепелями за декабрь – февраль составляет не менее 30 дней для территории Республики Беларусь [10]. Согласно изм. № 1 к СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции» [1] марка по морозостойкости лицевых кирпичей и керамических камней должна быть не менее F35.

Таким образом, для обеспечения долговечности стен, возведенных с применением керамических стеновых материалов, необходимо:

- исключить применение керамического кирпича для возведения фундаментов, цоколей здания;

- целесообразно примыкание гидроизоляционного ковра выполнять с его выводом на парапет зданий. В местах примыкания гидроизоляционного ковра к стенам вышележащих частей здания подъем гидроизоляционного ковра выполнять на высоту не менее 600 мм.

Кроме того, учитывая опыт эксплуатации зданий, построенных до 50-х годов прошлого века с применением керамических материалов моро-

зостойкостью 10 – 15 циклов, но имеющих длительный бездефектный срок эксплуатации, целесообразно использовать элементы архитектурной выразительности здания для снижения попадания атмосферных осадков на вертикальные поверхности стен:

- вынос карнизов не менее 500 мм;
- устройство организованных водостоков со скатных крыш;
- при значительной высоте здания устройство поясков и т.п.

Литература

1. Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой СССР: СНиП II-22-81. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
2. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81 Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования) / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 152 с.
3. Каменные и армокаменные конструкции. Правила возведения: ТКП 45-5.02-82-2010. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 12 с.
4. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87 / Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП, 1991. – 192 с.
5. Ничипоренко, С.П. О формовании керамических масс в ленточных прессах / С.П. Ничипоренко, М.Д. Абрамович, М.С. Комская. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1971. – 75 с.
6. Яковенко, В.В. Исследование сцепления и внутреннего трения глиняных масс пониженной влажности при высоких давлениях, соответствующих условиям работы в современных мощных высокопроизводительных ленточных прессах: автореф. дисс. …канд. техн. наук: 05.17.11 / Ленинградский инж.-строит. ин-т. – Ленинград, 1973. – 19 с.
7. Элер, Е.А. Движение керамических масс в формующих органах шнековых прессов и методика определения основных параметорв формования: автореф. дисс. …канд. техн. наук: 05.17.11 / Моск. инж.-строит. ин-т; Е.А. Элер. – М., 1979. – 18 с.
8. Технические требования и правила приемки: СНБ 5.08.01-2000 Кровли. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2000. – 23 с.
9. Проектирование и устройство кровель: П1-03 к СНБ 5.08.01-2000. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2004. – 116 с.
10. Строительная климатология: СНБ 2.04.02-2000. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2001. – 37 с.

УДК 693.3

Лукутцова Н.П., д-р техн. наук, проф.; Карпиков Е.Г.;
Кондрик А.С.; Петров Р.О.; Ширко С.В.
(ФГБОУ ВПО «БГИТА», г. Брянск)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МИКРОДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Стратегия развития промышленности строительных материалов Российской Федерации на период до 2020 года направлена на расширение номенклатуры и снижение энергоемкости производства строительных материалов и конструкций. Этим требованиям в полной мере отвечают композиционные материалы, модифицированные микродисперсными добавками на основе промышленных отходов региона и некондиционного сырья.

Сейчас выбор добавок очень широк, однако постоянно растущий ассортимент продукции строительных материалов требует новых подходов в использовании сырьевой базы для производств, особенно изделий из мелкозернистого бетона, так как продукция из этого материала является одной из наиболее востребованных, а объемы производства мелкозернистых смесей имеют все более возрастающий характер.

Целью работы является разработка комплексной микродисперсной добавки для получения эффективного модифицированного мелкозернистого бетона на основе некондиционного кварцевого песка.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

– оценить качество некондиционного кварцевого песка как сырья для получения микродисперсных добавок, применяющихся в мелкозернистых бетонах (МЗБ);

– исследовать влияние микродисперсных добавок на основе некондиционного кварцевого песка на свойства бетонной смеси и бетона;

– разработать составы мелкозернистых бетонов на основе некондиционного кварцевого песка, модифицированных микродисперсными добавками, и исследовать их свойства.

Решение данных задач позволило получить комплексную микродисперсную добавку для бетонов Гидропласт-К. В результате литературного и патентного поиска можно сказать, что на сегодняшний день аналогов разработанной добавки не существует.

В настоящее время проблем с сырьевой базой для мелкозернистого бетона нет, однако уже с момента развития отрасли строительных мате-

риалов остро стоит проблема использования промышленных отходов. Разработанная добавка Гидропласт-К решает эту проблему, так как в результате ее применения возможно использование в мелкозернистом бетоне некондиционных кварцевых песков в качестве заполнителя без потери физико-механических характеристик изделий из данного вида бетона.

Полученная микродобавка испытывалась на мелкозернистом бетоне, заполнителем для которого служили некондиционный кварцевый песок (НКП) и техногенный глауконитовый (ТГП) (для сравнения). Зерновой состав этих песков отличается тем, что он находится в области мелких песков. Данные пески не входят в диапазон значений зернового состава песков, пригодных для производства строительных материалов, нормируемых ГОСТ 8736-93.

Установлено, что зависимость прочности мелкозернистого бетона на некондиционном кварцевом песке от содержания дисперсных добавок кварцевого и глауконитового песка носит экстремальный характер (табл. 1, 2).

Таблица 1

Прочность мелкозернистого бетона с добавкой тонкодисперсного кварцевого песка

Содержание тонкодисперсного кварцевого песка, %	Предел прочности при сжатии через сут., МПа			
	3	7	14	28
0	6,0	8,4	10,5	14,8
5	7,0	10,8	15,4	18,7
10	8,5	13,7	18,2	26,1
15	9,2	13,3	18,0	26,6

Таблица 2

Прочность мелкозернистого бетона с добавкой тонкодисперсного глауконитовог песка

Содержание тонкодисперсного ТГП, %	Предел прочности при сжатии через сут., МПа			
	3	7	14	28
0	6,0	8,4	10,5	14,8
5	6,3	8,9	11,3	15,6
10	7,5	11,3	17,2	24,5
15	6,7	10,6	12,9	17,6

Проведенный анализ различных видов тонкодисперсных песков на характеристики мелкозернистого бетона показал, что предел прочности

при сжатии МЗБ с добавкой молотого кварцевого песка повышается на 14, 61, 73 и 76 % через 3, 7, 14, 28 суток твердения соответственно. Добавка молотого глауконитового песка в меньшей степени повышает предел прочности при сжатии МЗБ: на 12, 34, 63 и 66 %, что указывает на эффективность использования некондиционного кварцевого песка.

Влияние модифицирующей микродобавки на основе тонкодисперсного кварцевого песка и пластификатора С-3 показало, что прочность при сжатии мелкозернистого бетона на основе НКП уже через трое суток твердения возрастает в 5,5 раза. В конечном итоге через 28 суток прочность при сжатии повышается в 4,5 раза в зависимости от контрольного образца. Прочность при изгибе также имеет тенденцию к росту: в первые трое суток твердения – в 5 раз, далее через 28 суток также увеличивается в 5 раз. Водопоглощение снижается в 1,5 раза.

Результаты влияния модифицирующей микродобавки на основе тонкодисперсного кварцевого песка и гидрофобизатора стеарата кальция на мелкозернистый бетон показывают, что через трое суток твердения прочность бетона при изгибе возрастает в 1,7 раза, через 28 суток в 1,1 раза. Это свидетельствует о стабильном, невысоком приросте прочности из-за специфики действия используемого стеарата кальция. Прочность при сжатии в первые трое суток твердения имеет прирост в 5 раз по сравнению с контрольным образцом. В последующие 28 суток значительного увеличения прочности в зависимости от контрольного образца не наблюдается. Водопоглощение снижается в 3 раза.

Влияние комплексной модифицирующей микродобавки на основе тонкодисперсного кварцевого песка, пластификатора С-3 и гидрофобизатора стеарата кальция на мелкозернистый бетон показывает, что прочность при изгибе в первые трое суток твердения возрастает в 8 раз относительно контрольного образца, что является существенным увеличением прочности для данного вида бетона. В последующие 28 суток твердения она увеличивается в 2,5 раза и носит экстремальный характер (рис. 2). Прочность при сжатии в трехсуточном возрасте увеличивается в 4,3 раза, а в 28 – в 3 раза относительно контрольного образца (рис. 1). Полученные результаты обусловлены возникновением синергетического эффекта при формировании микроструктуры связанного с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция и ускорения процессов гидратации. Водопоглощение образцов мелкозернистого бетона значительно снижается при содержании микродобавки в количестве 15 % и уменьшилось в 4 раза по сравнению с контрольным образцом (рис. 2).

Таким образом, можно сделать **вывод**, что наибольшее влияние на прочность мелкозернистого бетона оказывает микродобавка тонкомолото-

го кварцевого песка совместно с пластификатором С-3 и гидрофобизатором стеаратом кальция.

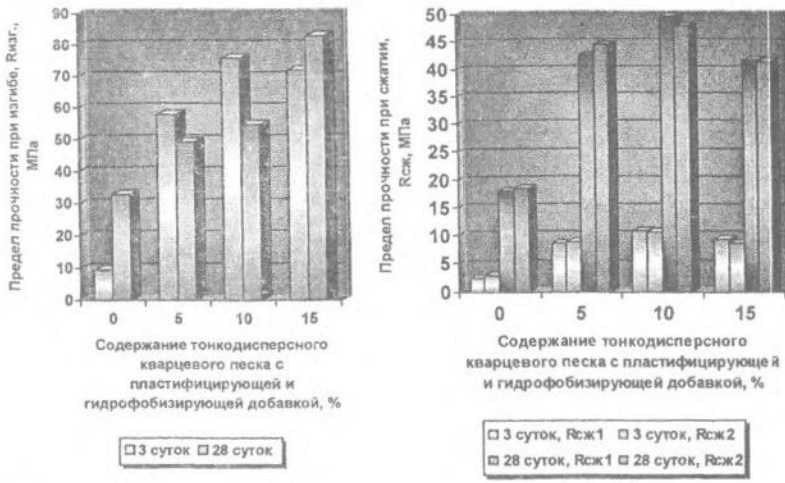


Рис. 1. Прочность образцов при изгибе и сжатии в зависимости от содержания микродобавки

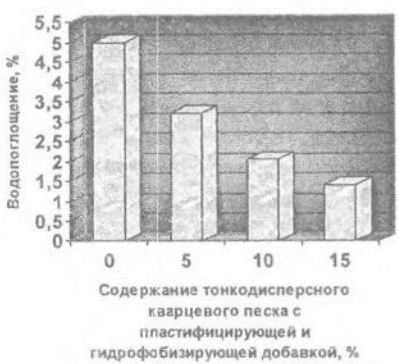


Рис. 2. Водопоглощение образцов в зависимости от содержания микродобавки

В результате выполненных исследований разработана эффективная микродобавка для бетонов. Комплексная добавка Гидропласт-К позволяет получить изделия с прочностью при сжатии 49 МПа, при изгибе 11 МПа, водопоглощением 1,4 %, морозостойкостью более F75, что доказывает эффективность применения разработанной комплексной добавки в мелкозернистом бетоне при ее содержании 5 – 15 %.

УДК 691.54:620.17

Юхневский П.И., канд. хим. наук, доц.;
Широкий Г.Т., канд. техн. наук, доц.
(БНТУ, г. Минск)

НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК ПЛАСТИФИКАТОРОВ

Проблема установления связи между структурой, свойствами химических добавок пластификаторов и их влиянием на свойства цементных композиций является актуальной в технологии бетона. Установление количественной связи между структурой химических добавок и свойствами цементных композиций необходимо для прогнозирования их влияния на цементные системы, целенаправленного синтеза более эффективных аналогов, что обеспечивает выход на новый уровень качества строительных материалов.

Отдельными исследователями предпринимались попытки изучения влияния вида содержащихся в добавке функциональных групп на механизм ее действия.

В работах [1; 2] изучены органические добавки различных классов (спирты, кислоты, основания) и сделан вывод о том, что характер влияния органических соединений на процессы гидратации вяжущих определяется природой активных групп, причем соединения, содержащие несколько функциональных групп, оказывают большее влияние на гидратацию, если в пара-положении в одной группе находится другая полярная группа. Органические основания способствуют образованию координационных соединений, в которых алюминий входит в состав комплексного катиона, органические кислоты – в состав соединений с алюминием в комплексном анионе. Двойная связь непредельного соединения оказывает гидрофилизирующее действие, что связано с адсорбцией молекул по двойной связи и блокированием углеводородной части молекул.

Методика оценки эффективности добавок, регламентированная ГОСТ 30459-2008, не охватывает всех параметров, поэтому рядом ученых предлагаются альтернативные методики для расчета критериев эффективности добавок [3]. Такой подход позволяет несколько приблизиться к пониманию сути действия добавок и к прогнозу их эффективности. Поскольку характер и эффективность модифицирования цементных композиций химическими добавками определяется видом строения последних, то правильнее вести речь о проектировании модификаторов на стадии их создания.

Ранее проведенными исследованиями [4; 5] нами определены дипольные моменты молекул добавок суперпластификаторов Мельмент L-10, С-3, Стахемент 2000, Стахемент F экспериментальным методом, а для ряда олигомеров на основе нитросоединений (продукты обработки смолы ДЭГ-1, эпихлоргидрина, нитрометана, этиленоксида и др.) дипольные моменты молекул рассчитаны квантово-химическим методом. Установлена корреляционная связь водоредуцирующей эффективности добавок для среднеалюминатного цемента с величиной дипольного момента молекулы.

Поскольку эффективность пластификаторов определяется природой активных групп, квантово-химическими расчетами [6] определены энергии образования комплексов с C_3S и величины ионизационных потенциалов для различных функциональных групп добавок-пластификаторов: спиртовых, фенольных и ароматических аминогрупп – добавки УПБ, ЛСТ; фенолят-анионов – сульфонаты фенолоформальдегидной смолы; алкиларилсульфонатов – добавка М-1; алкилнафталинсульфонатов – добавки С-3, СМФ; нитроэфиров и щелочных солей нитроновой кислоты – продукт обработки смолы ДЭГ-1; нитроната эпихлоргидрина; алкилмеламинсульфонатов – добавки 10-03, 30-03; карбоксилатов щелочных металлов – добавки ПАЩ, КОЩ; арилкарбоксилатов – добавка ВРП-1.

По результатам исследований различных добавок-пластификаторов известной молекулярной структуры (продуктов обработки нитросоединений, продуктов обработки замещенных бензолов, хинонов и фенолов, продуктов окисления, карбоксилирования и сульфирования фенолоформальдегидных смол) разработана блок-схема (рисунок) методологического подхода к прогнозированию активности пластифицирующих добавок и предложена система (таблица) критериальной оценки эффективности добавок пластификаторов по следующим показателям:

– энергия образования комплексов, ΔH_f, кДж/моль;

– дипольный момент молекулы, D;

– концентрационная активность добавки, определяемая по формуле:

$$K_a = \frac{\Delta П_{min}}{D_{min}} - \frac{\Delta П_{max}}{D_{max}}, \qquad (1)$$

где $\Delta П_{min}$ и $\Delta П_{max}$ – соответственно, увеличение подвижности смеси (см) от исходной при минимальном D_{min} и максимальном D_{max} количестве добавки (%)

Концентрационная активность добавки характеризуется тангенсом угла наклона кривой изменения подвижности смеси с увеличением количества добавки.

Как видно из нижепредставленной таблицы, добавки III – IV группы, или слабопластифицирующие, обладают энергией образования комплексов и дипольным моментом, сравнимыми с молекулами воды, и характеризуются

наибольшим значением концентрационной активности. Например, суперпластификатор С-3 характеризуется энергией образования комплекса с C_3S ΔH_f = 414,86 кДж/моль; ионизационным потенциалом молекулы U = 8,9 *eB* и дипольным моментом молекулы μ = 9,74 *D*. Добавка ЛСТ, как известно, содержит спиртовые группы ΔH_f = 54,18 кДж/моль, U = 10,5 *eB*, фенольные ΔH_f = 50,19 кДж/моль, U = 9,1 *eB* и алкилсульфонаты ΔH_f = 416,2 кДж/моль, U = 9,9 *eB* [5; 6]. Понятно, что в этом случае прогноз эффективности по критериям усложняется взаимным влиянием различных активных групп.

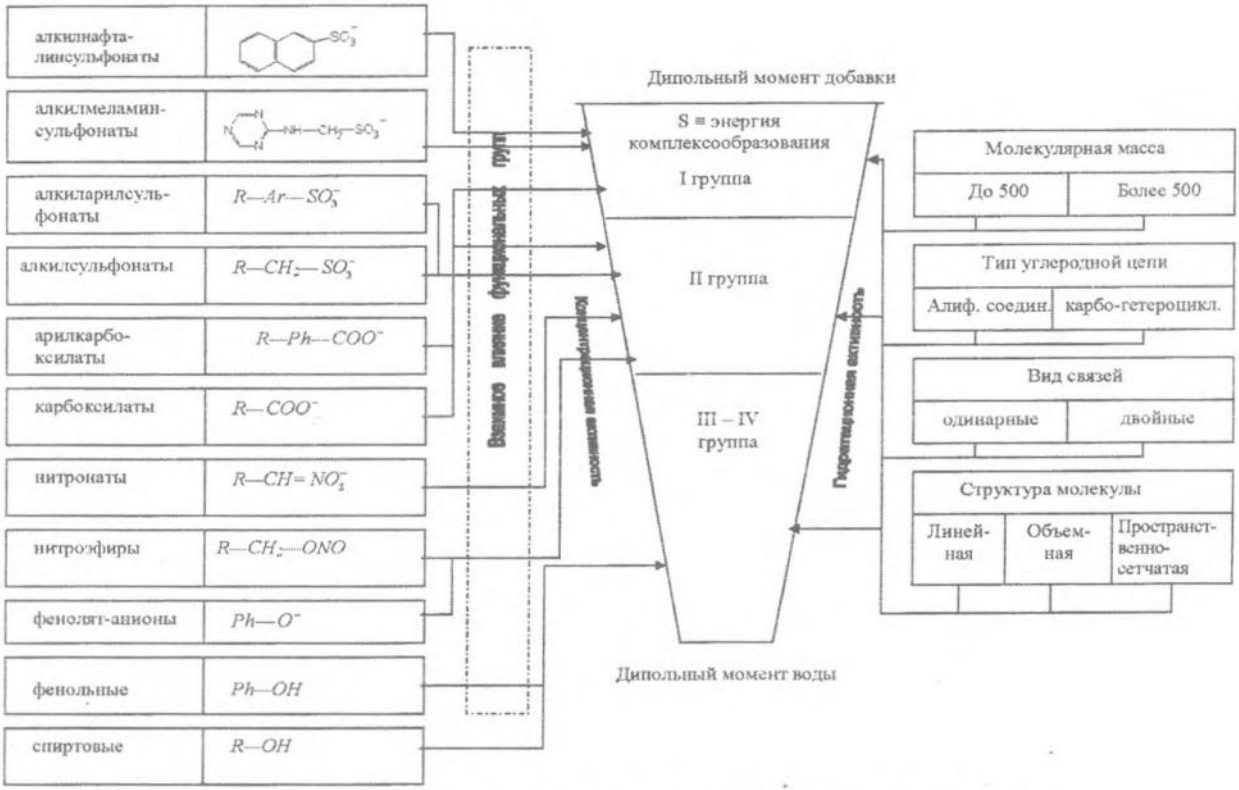
Таблица

Критерии оценки эффективности добавок пластификаторов

Группа эффективности		Критерии оценки		
по СТБ 1112-98	По ГОСТ 24211-2008	Энергия образования комплекса, ΔH_f, кДж/моль	Дипольный момент молекулы, *D*	Концентрационная активность
I	Суперпластифицирующие	более 400	более 4	не более 15
II	Пластифицирующие	200 – 350	2,5 – 4	15 – 30
III – IV		менее 100	менее 2,2	более 30

Пластифицирующая способность химических добавок определяется многими факторами. В первую очередь, пластифицирующий эффект при введении в минеральные вяжущие органических соединений нужно ожидать при наличии в молекуле химического продукта большого углеводородного радикала и активных функциональных групп, способных реагировать с минералами вяжущего или продуктами его гидратации. При этом вид и количество электроно-оттягивающих групп определяют величину дипольного момента молекулы и, соответственно, долю электростатической составляющей механизма пластификации. Дипольный момент и энергия образования комплексов с продуктами гидратации цементных минералов определяют концентрационную активность добавки. На пластифицирующую способность также влияет молекулярная масса вещества, учитываемая при определении дипольного момента молекулы.

Конформация молекулы, зависящая от типа углеродной цепи, вида связей, структуры молекулы, помимо влияния на пластифицирующую способность, в большей степени определяет гидратационную активность цемента в присутствии добавки. Соответственно, влияние добавок на протекание реакций гидратации определяется особенностями строения органоминеральной адсорбционной пленки, обусловленными различным пространственным расположением макромолекул в адсорбционной пленке, видом и положением функциональных групп и различиями в энергии связи их с гидратированными частицами цемента.



Блок-схема методологического подхода к прогнозированию активности пластифицирующей добавки

Гидратационную активность цемента в присутствии пластификатора можно представить как функцию следующих переменных:

$$K_т = f(P_{ор}, M, U, \eta, K_ц), \quad (2)$$

где $P_{ор}$ – ориентационная поляризация молекулы; M – молекулярная масса (звена цепи); U – ионизационный потенциал добавки; η – приведенная вязкость водного раствора добавки; $K_ц$ –коэффициент, определяющий свойства цемента.

Таким образом, при известной электронной структуре молекулы добавки приближенно ее эффективность оценивают, пользуясь блок-схемой (см. рисунок). Для количественной оценки эффективности квантово-химическими расчетами определяют энергию образования комплекса с гидратированным C_3S, величину дипольного момента и ионизационный потенциал молекулы.

Литература

1. Копп, Р.З. О пластифицирующем действии высокомолекулярных поверхностно-активных веществ на систему цемент – вода / Р.З. Копп, Ф.Л. Глекель // Изв. АН СССР, Неорганические материалы. – 1979. – Т. 15. – № 7. – С. 1280 – 1286.
2. Ramachandran, V.S. Hydration Cement – Role of Triethanolamine / V.S. Ramachandran // Cement and Concrete Res. – 1976. – Vol. 6. – No. 5. – P. 623 – 632.
3. Несветаев, Г.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах / Г.В. Несветаев // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 23 – 25.
4. Юхневский, П.И. О корреляционной связи водоредуцирующей эффективности с величиной дипольного момента химической добавки-пластификатора / П.И. Юхневский, В.М. Зеленковский, В.С. Солдатов // Технологии бетонов. – 2010. – № 9 – 10. – С. 28 – 29.
5. Юхневский, П.И. Определение дипольных моментов добавок пластификаторов для цементных бетонов / П.И. Юхневский // Вестн. БНТУ, 2010. – № 2. – С. 11 – 14.
6. Юхневский, П.И. Об определяющей роли функциональных групп и вида связей в структуре молекулы химической добавки-пластификатора / П.И. Юхневский // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4. – С. 25 – 27.

УДК 691.5.535

Вишнякова Ю.В., магистр техн. наук; Сманцер В.А.;
Бакатович А.А., канд. техн. наук, доц.

(ПГУ, г. Новополоцк)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШТУКАТУРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С МИНЕРАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

В Полоцком государственном университете проведена экспериментальная работа по изучению основных свойств штукатурных растворных смесей и растворов с карбонатосодержащим наполнителем. Наполнитель получали из многотоннажного вторичного продукта Полоцкой и Новополоцкой ТЭЦ – шлама водоочистки путем предварительной сушки и последующего измельчения.

На начальном этапе для установления возможного применения шлама в качестве наполнителя в цементных растворных смесях проведены исследования прочности композиций на цементах ПЦ500 Д20 заводов ПРУП «Белорусский цементный завод» и ПРУП «Кричевцементношифер», содержащих известь и наполнитель с определением показателей нормальной густоты. Наполнитель вводили в количестве от 10 до 60 % от массы цемента. Наибольший размер частиц наполнителя составил 80 мкм. Испытания проводили на образцах-кубиках размером 20×20×20 мм. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Анализ полученных результатов позволяет установить, что увеличение дозировки наполнителя ведет к повышению показателя нормальной густоты. Увеличение водопотребления, в свою очередь, приводит к снижению прочности цементных композиций с наполнителем. Так, например, прочность составов 3 практически в 2 раза выше прочности составов 8 в возрасте 7 суток и в 1,5 раза – в возрасте 28 суток.

Значения прочности цементных композиций, содержащих наполнитель в количестве 20 - 30 % от массы цемента (составы 4, 5), превышают показатели цементно-известковых композиций (составы 2) в возрасте 7 суток на 8 – 17 %, а в возрасте 28 суток на 8 – 21 %, значения нормальной густоты ниже на 12 – 20 %. Введение наполнителя в количестве 50 – 60 % вызывает снижение прочности цементного камня (составы 7, 8), при этом показатели нормальной густоты превышают значения цементно-известковых композиций.

Таблица 1

Прочность и нормальная густота цементных композиций

Наим. завода	№ состава	Расход		Прочность, МПа		Нормальная густота
		извести, % от массы цемента	наполнителя, % от массы цемента	7 суток	28 суток	
ПРУП «Кричевцементно-шифер»	1	–	–	28,4	42,6	0,25
	2	30	–	20,1 (100)	29,5 (100)	0,37
	3	–	10	25,5 (127)*	38,4 (130)*	0,27
	4	–	20	23,1 (115)	35,6 (121)	0,3
	5	–	30	21,8 (108)	33,2 (113)	0,33
	6	–	40	18,6 (93)	29,9 (101)	0,37
	7	–	50	15,1 (75)	25,5 (86)	0,4
	8	–	60	13,6 (68)	24,9 (84)	0,45
ПРУП «Белорусский цементный завод»	1	–	–	24,9	39,2	0,28
	2	30	–	18,3 (100)	27,4 (100)	0,40
	3	–	10	23,6 (129)*	34,8 (127)*	0,30
	4	–	20	21,4 (117)	32,6 (119)	0,32
	5	–	30	19,7 (108)	29,5 (108)	0,35
	6	–	40	16,3 (89)	26,2 (97)	0,39
	7	–	50	14,5 (79)	23,4 (86)	0,43
	8	–	60	12,1 (66)	22,9 (85)	0,48

* – изменение прочности цементных композиций с наполнителем относительно цементно-известковой композиции, выраженное в процентах.

Для определения размеров частиц наполнителя и цемента использовали лазерный микроанализатор размеров частиц «Analysette 22» NanoTec немецкой фирмы «FRITSCH». С помощью специальной программы по обработке результатов получены зависимости (рис. 1 – 2).

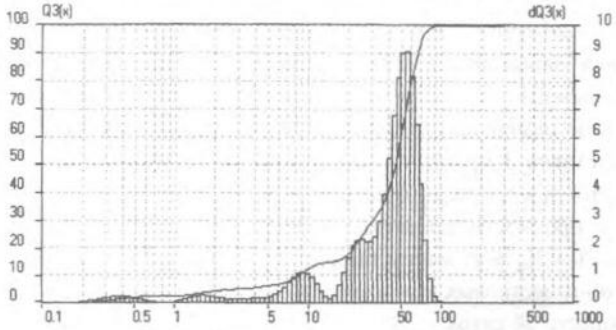


Рис. 1. Распределение частиц наполнителя по размерам
$Q3(x)$ – кумулятивная кривая распределения;
$dQ3(x)$ – кривая распределения плотности

Полученные результаты позволяют проследить распределение частиц по размерам в наполнителе (рис. 1). Фракция частиц наполнителя размером до 1 мкм составляет 2,4 % от общего количества. В диапазоне от 1 до 2 мкм содержание частиц равно 1,7 % от массы пробы наполнителя. Содержание частиц в диапазонах 2 – 3, 3 – 4, 4 – 5 и 5 – 10 мкм колеблется в пределах от 0,5 до 6,1 %. Далее происходит увеличение содержания количества частиц по фракциям. Так, частицы размером от 10 до 50 мкм составляют 48,2 %. Наибольшее количество частиц 49,7 % приходится на фракцию размером от 50 до 100 мкм.

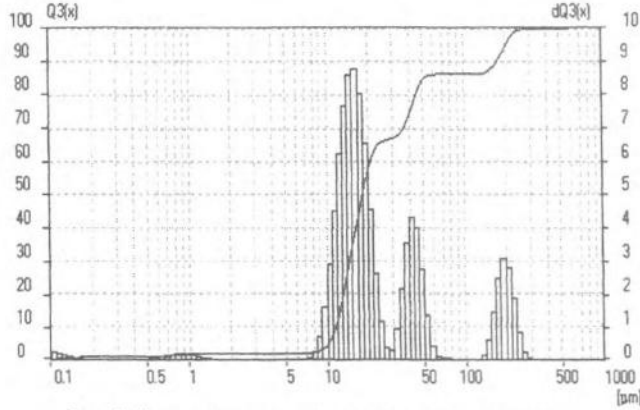


Рис. 2. Распределение частиц цемента по размерам:
Q3(x) – кумулятивная кривая распределения;
dQ3(*x*) – кривая распределения плотности

Распределение частиц по размерам в цементе приведено на рис. 2. Частицы цемента фракцией от 0,05 до 1 мкм составляют 1,7 % от общего количества. Содержание частиц в диапазонах 1 – 2 и 5 – 10 колеблется в пределах от 0,3 до 2,5 %. Наибольшее количество частиц 53,7 % приходится на фракцию размером от 10 до 20 мкм. В диапазоне от 20 до 50 мкм содержание частиц составляет 25,7 % от массы пробы цемента. Колебания содержания частиц в диапазонах 50 – 100 и 100 – 200 мкм находятся в пределах от 2,6 до 7,9 %.

Анализ полученных кривых распределения позволяет сделать вывод о том, что размеры частиц наполнителя сопоставимы с размерами частиц цемента. При оптимальном расходе частицы наполнителя позволяют формировать более плотную структуру цементного камня, что объясняет сопоставимые результаты по прочности цементной композиции с наполните-

лем (составы 4, 5) по отношению к цементно-известковой композиции (состав 2) таблицы 1.

Оптимальное количество наполнителя для штукатурных цементных и известковых растворных смесей определяли, основываясь на показателях прочности растворов, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворных смесей. За контрольные принимали составы цементно-известковых штукатурных растворов марок М 50 и М 75 с расходом цемента 156 кг и 192 кг соответственно, а также известково-песчаный раствор с соотношением известь:песок – 1:6, используемый для внутренних отделочных работ. Подвижность растворных смесей составляла 8 см. В исследованиях использовался наполнитель с наибольшим размером зерен 80 мкм. Результаты исследований приведены в таблицах 2 и 3.

За первые 7 суток наибольшей прочности достигли образцы цементного раствора с наполнителем в количестве 80 % от расчетной массы извести. Для марки М 50 прирост прочности составил 20 %, а для марки М 75 – 16 %. При этом значения прочности экспериментальных составов 3 – 5 и 9 – 11 не ниже показателей контрольных составов 1 и 7. Испытания в возрасте 28 суток показали, что прирост прочности составов 4 и 10 относительно контрольных значений незначителен и сократился до 11 – 12 %.

Таблица 2

Основные показатели качества штукатурных цементных растворных смесей и растворов

№ состава	Марка контрольного состава	Расход на 1 м^3, кг			В/Т	Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
		цемента	извести	наполнителя		7 сут.	28 сут.		
1	М50	156	96 (60*)	–	1,46	3,5	5,1	8,0	96,8
2		160	–	40 (30*/40")	1,69	3,2	4,3	9,8	95,8
3		159	–	59 (40/60)	1,5	3,8	5,2	8,1	96,5
4		157	–	78 (50/80)	1,39	4,2	5,7	8,0	97,0
5		156	–	96 (60/100)	1,45	3,6	5,1	8,4	97,2
6		155	–	114 (70/120)	1,49	3,2	4,5	9,2	97,9
7	М75	192	90 (50)	–	1,28	5,0	7,5	8,3	96,5
8		197	–	37(20/40)	1,48	4,3	7,0	9,6	95,7
9		195	–	55 (30/60)	1,35	5,2	7,6	8,5	96,2
10		194	–	72 (40/80)	1,21	5,8	8,3	8,0	96,5
11		192	–	90 (50/100)	1,3	5,1	7,7	8,3	97,0
12		190	–	107 (60/120)	1,34	4,6	7,2	9,0	97,4

*– процент ввода извести или наполнителя от расчетной массы цемента;
"– процент ввода наполнителя от расчетной массы извести.

Увеличение расхода наполнителя с 40 до 120 % ведет к увеличению расхода воды на 15 – 19 %. Водоцементное отношение экспериментальных составов 4 и 10 указывает на то, что водопотребность композиций сокращается на 40 литров по сравнению с расходом воды в контрольных растворных смесях.

Наиболее низкая расслаиваемость растворных смесей соответствует составам 3 – 5, 9 – 11 и аналогична показателям цементно-известковых растворов. Введение наполнителя в количестве менее 60 % и более 100 % от расчетной массы извести способствует увеличению расслаиваемости растворных смесей.

Водоудерживающая способность экспериментальных смесей возрастает по мере увеличения дозировки наполнителя. Основываясь на экспериментальных данных по основным свойствам оптимальным является введение наполнителя в количестве 60 – 100 % от расчетной массы извести.

В известково-песчаных составах часть извести от 20 до 60 % заменяли наполнителем в количестве 80 % от сокращаемого расхода извести.

В возрасте 7 суток составы 3 – 5 показали прочность сопоставимую или превышающую показатель контрольного состава. Так у состава 4 при замене 40 % извести наполнителем прочность на 60 % превышает контрольное значение. Следует отметить, что уже в возрасте 28 суток разница между показателями состава 1 и состава 4 существенно сократилась и составляет 20 %. При этом прочность известковых растворов с наполнителем (составы 3, 5) находится на уровне значений известково-песчаного раствора (состав 1).

Таблица 3

Основные показатели качества штукатурных известковых растворных смесей и растворов

№ состава	Расход, кг			Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
	извести	наполнителя	воды	7 сут.	28 сут.		
1	230	–	343	0,8	1,5	7,8	96,2
2	190	38 (20 %)*	328	0,6	1,5	7,8	96,5
3	169	58 (30 %)	314	0,8	1,6	7,9	96,3
4	147	78 (40 %)	305	1,3	1,8	8,1	96,6
5	124	99 (50 %)	301	0,9	1,5	8,0	96,4
6	99	118 (60 %)	301	0,7	1,2	8,3	96,0

*– процент сокращения расхода извести по массе

Сокращение расхода извести снижает водопотребление растворных смесей. Так, для состава 4 расход воды сокращается на 20 % по сравнению

с контрольным составом. При расходе извести 40 – 50 % от расчетной массы контрольного раствора (составы 5, 6) требуемое количество воды становится постоянным.

Исследования расслаиваемости и водоудерживающей способности не выявили выраженных зависимостей от количества содержащегося наполнителя в растворных смесях. Расслаиваемость смесей изменяется в пределах 7,8 – 8,3 %, а водоудерживающая способность – 96 – 96,6 %.

Анализ полученных результатов позволил установить, что оптимальным является сокращение расхода извести на 40 – 50 % при введении наполнителя в количестве 80 % от сокращенного расхода извести.

Кроме того, в процессе исследований установлено, что усадочные деформации для цементно-известковых растворов составили 1,5 – 1,8 мм/м, а для цементных с наполнителем 0,7 – 1,1 мм/м. У известкового контрольного состава усадочные деформации равны 2,1 мм/м, а у известковых растворов с наполнителем показатели составили 1,2 – 1,4 мм/м. Снижение усадочных деформаций на 40 – 60 % способствует формированию более однородной структуры, снижает вероятность появления микротрещин и тем самым повышает прочность штукатурных растворов содержащих наполнитель.

Выполнены сравнительные испытания штукатурных цементных растворов на морозостойкость. Испытания на морозостойкость показали, что изменений прочности штукатурных растворов марок М50, М75 и потери массы не наблюдалось после 50 и 75 циклов соответственно.

Снижение прочности штукатурного цементно-известкового состава марки М50 произошло только через 70 циклов и составило 25 %. Через 80 циклов значение падения прочности экспериментального состава достигло 26 %.

Прочность контрольного раствора марки М75 упала на 26 % только через 90 циклов, а у штукатурного раствора с наполнителем снизилась на 12 % и достигла 23 % только после 100 циклов.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что уменьшение прочности образцов с наполнителем происходит менее интенсивно. В результате образцы выдерживают на 10 - 15 циклов больше попеременного замораживания и оттаивания по сравнению с контрольными составами. Марки по морозостойкости штукатурных цементных растворов с наполнителем превышают нормативное значение согласно СНиП II-22-81, следовательно, могут применяться для внутренних, наружных штукатурных работ.

Проведены испытания по определению прочности сцепления штукатурных растворов с керамическим кирпичом, с блоками из тяжелого бетона и газосиликата.

При испытании прочности сцепления штукатурных цементных растворов, содержащих наполнитель, установлено, что при использовании в качестве основания керамического кирпича и блоков из тяжелого бетона разрушение происходило по раствору, т.е. носило когезионный характер. Несмотря на высокую шероховатость поверхности блоков из газосиликата, разрушение, в основном, имеет адгезионный характер, при этом частично в образцах наблюдается разрушение по структуре шероховатой поверхности газосиликатных блоков. Прочность сцепления экспериментальных растворов с поверхностью на 33 – 42 % выше, чем у контрольных составов, и составляет 0,3 – 0,59 МПа.

Результаты исследований прочности сцепления штукатурных известковых растворов, содержащих наполнитель, показали, что в контрольных образцах разрушение независимо от материала основания происходило по границе контакта раствора с основанием и контактная поверхность растворов практически оставалась неповрежденной. Образцы на известковых составах с наполнителем разрушались по структуре растворов. Прочность сцепления экспериментальных составов составила 0,23 – 0,29 МПа, что на 21 – 38 % выше, чем у раствора с добавкой извести.

Выводы. Исследования цементных композиций, включая определение прочности и нормальной густоты, подтвердили возможность применения карбонатосодержащего наполнителя на основе шлама водоочистки для строительных растворов.

По результатам гранулометрического анализа можно сделать вывод о том, что частицы наполнителя и цемента соизмеримы. Введение наполнителя позволяет повысить степень наполнения цементного камня и оптимизировать насыщение цементного камня наполнителем, что позволяет снизить водопотребность и повысить прочность по сравнению с цементно-известковой композицией.

Проведенный комплекс исследований позволяет установить, что для штукатурных цементных растворных смесей оптимальным является введение наполнителя с максимальным размером частиц 80 мкм в количестве 40 – 60 % для марки М50 и 30 – 50 % для марки М75 от расчетной массы цемента. Прочность растворов с наполнителем в возрасте 7 суток превышает значения цементно-известковых составов на 14 – 17 %.

Для штукатурных известковых смесей оптимальным является сокращение расхода извести на 40 – 50 % при введении наполнителя в количестве 80 % от заменяемой массы извести. Расслаиваемость и водоудерживающая способность сохраняются на уровне контрольных значений, при этом прочность растворов с наполнителем в возрасте 7 суток превышает значения известкового состава на 60 %, а в 28 суток на 15 %.

Штукатурные растворы с наполнителем имеют более низкое водопоглощение и меньшее падение прочности в водонасыщенном состоянии на 20 – 25 % в сравнении с цементно-известковыми растворами, что способствует повышению морозостойкости до 15 % и обеспечивает соответствие нормативным требованиям.

Адгезия штукатурных цементных и известковых растворов с наполнителем превышает на 30 – 35 % показатели контрольных составов, что снижает возможность отслоения штукатурного слоя от основания в процессе эксплуатации зданий при возникновении динамических нагрузок, включая вибрационные воздействия.

УДК 666.973.3

Бозылев В.В., канд. техн. наук, доц.; Рядчиков Е.В.
(ПГУ, г. Новополоцк)

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПУЧИВАНИЯ ЯЧЕИСТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В настоящее время производство ячеистого бетона автоклавного твердения занимает лидирующую позицию в промышленности строительных материалов Республики Беларусь.

Как следует из материалов 6-й Международной научно-практической конференции "Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения" [1] высокими темпами происходит модернизация предприятий, выпускающих ячеистобетонные изделия автоклавного твердения, сочетая ударную технологию и импортное резательное оборудование.

Одна из основных задач при производстве ячеистобетонных блоков – обеспечение высокой прочности. Известно, что при уменьшении водотвердого отношения бетонной смеси прочность изделий повышается.

Важным этапом производственного процесса, обеспечивающим достижение высоких показателей качества газосиликатных блоков, является формование массивов. Существующие методы формования ячеистобетонного массива назначаются в соответствии с принятым технологическим регламентом производства и могут быть реализованы по литьевой, вибрационной или ударной технологии [2].

Ударная технология базируется на использовании ударных воздействий для тиксотропного разжижения высоковязких смесей, энергию и час-

тоту которых назначают в зависимости от реологических свойств смеси. По сравнению с литьевой технологией, ударная технология позволяет уменьшить расход сырьевых материалов: цемента – на 20-30%, извести на 10 – 15%, газообразователя – на 5 – 10 %. При этом время выдержки на посту вызревания сокращается до 1,0 – 1,5 часов, а энергозатраты при автоклавной обработке уменьшаются в среднем на 8 – 10 % [3].

Значительное снижение вязкости смеси за счёт ударных воздействий позволяет использовать высоковязкие ячеистобетонные смеси с пониженным водотвёрдым отношением (В/Т), что способствует росту физико-технических характеристик материала. Для ячеистобетонных смесей на смешанном вяжущем и кварцевом песке В/Т может быть понижено до 0,37 – 0,38 по сравнению с 0,50 – 0,65 при применении литьевой технологии [4].

В настоящее время большинство заводов по выпуску газосиликатных блоков в Республике Беларусь ориентировано на использование ударной технологии. Применяются различные виды ударных площадок. Наиболее совершенной на данном этапе развития ударной технологии является ударная площадка с управляемыми параметрами. Например, специалистами ОАО «Забудова» и ОАО «Сморгоньсиликатобетон» совместно со специалистами фирмы «Маза-Хенке» разработана конструкция современной ударной площадки грузоподъемностью 15 тонн. Оптимальное соотношение массы формы со смесью и верхней рамы ударной площадки к массе нижней рамы ударной площадки к массе фундамента, а также специальный профиль эксцентрика кулачкового механизма, обеспечили при минимальной высоте удара (подъем верхней рамы с формой) максимальную энергию удара.

Однако существуют проблемы в использовании ударной технологии, одна из которых – сложность выбора режимов формования по ударной технологии, т.е. назначения частоты и амплитуды ударов, обеспечивающих наибольшую эффективность вспучивания ячеистобетонной смеси и оптимальные физико-механические свойства выпускаемых изделий. Сложность состоит в некотором разбросе параметров заливаемой смеси, таких как начальная температура, количество алюминиевой суспензии, качество исходных материалов. Также при применении отечественных ударных площадок присутствуют следующие недостатки: сокращение срока службы оснастки, необходимость частого ремонта площадок, влияние динамических воздействий на несущие конструкции цеха.

В отличие от ударной технологии в комплексах полного цикла Xella (Hebel, Ytong) используется эффективное нешумное уплотнение смеси погружаемыми на определенное время в состав штыревыми вибраторами (рис. 1) [5, 6].



Рис. 1. Штыревые вибраторы по технологии «Xella» (Hebel, Ytong)

Устранение недостатков ударной технологии также может быть решено за счет применения новой установки для вспучивания ячеистобетонной смеси, разработанной в УО «Полоцкий государственный университет», на которую получен патент [7].

На рисунке 2 представлен общий вид установки в разрезе. Она содержит корпус 1, в котором подвижно закреплена опорная рама 2.

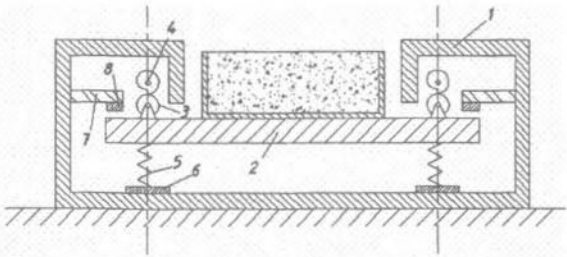


Рис. 2. Установка для активации вспучивания ячеистобетонной смеси:
1 – корпус; 2 – опорная рама; 3 – ролики; 4 – кулачки; 5 – пружины; 6 – регуляторы величины сжатия; 7 – упоры-ограничители; 8 – регуляторы величины амплитуды

Для оценки эффективности новой технологии и определения оптимальных параметров режима формования выполнено теоретическое обоснование применения новой технологии.

Домбровским А.В. сделана попытка объяснить процессы вспучивания. По ударной технологии в момент удара газовый пузырек получает дополнительный импульс в направлении вспучивания и скорость его движения значительно увеличивается [8].

Энергия ударного импульса, передаваемая через поддон формы в смесь в виде распространяющейся от поддона перпендикулярно вверх плоской волны высокого динамического давления, создает в смеси напряжение сжатия, которое затем переходит в кинетическую энергию экспоненциально затухающих свободных колебаний столба смеси.

Такая форма передачи энергии ударного импульса через поддон в смеси позволяет в течение малого промежутка времени более равномерно и более эффективно проработать весь объем смеси, следовательно, способствует более эффективному тиксотропному разжижению смеси, а возникающие после воздействия ударного импульса свободные экспоненциально затухающие периодические колебания столба смеси способствуют оптимизации процесса вспучивания в течение длительного промежутка времени в паузе между импульсами [9].

По технологии встряхивания в момент удара газовый пузырек получает дополнительный импульс по направлению вспучивания и увеличивает скорость его движения; уменьшение вязкости в этот момент также интенсифицирует вспучивание смеси.

Также процесс газообразования при механических воздействиях можно описать в виде движения системы, состоящей из формы, смеси и газовых пузырьков. Причем движению газовых пузырьков препятствует сила сопротивления.

Формула Стокса [10] позволяет определить силу сопротивления, действующую на медленно движущийся в вязкой среде шарик (газовый пузырек):

$$F_{conp} = 6\pi\eta r v, \qquad (1)$$

где η – вязкость смеси; r – радиус шарика; v – его скорость.

Чем меньше сила сопротивления, тем легче газовые пузырьки будут вспучивать смесь. Из формулы (1) следует, что сила сопротивления пропорциональна скорости шарика в вязкой среде ($F_{conp} \sim v$).

В момент удара скорость движения пузырька газа относительно формы определяется следующим выражением:

$$\bar{v}_{n/\phi} = \bar{v}_{n/c} + \bar{v}_{c/\phi}, \qquad (2)$$

где $\bar{v}_{n/\phi}$ – скорость движения пузырька относительно формы; $\bar{v}_{n/c}$ – скорость движения пузырька относительно смеси; $\bar{v}_{c/\phi}$ – скорость движения смеси относительно формы.

Из формулы 2 можно определить скорость движения пузырька относительно смеси (рис. 3), которая будет равна:

$$\bar{v}_{n/c} = \bar{v}_{n/\phi} - \bar{v}_{c/\phi}. \quad (3)$$

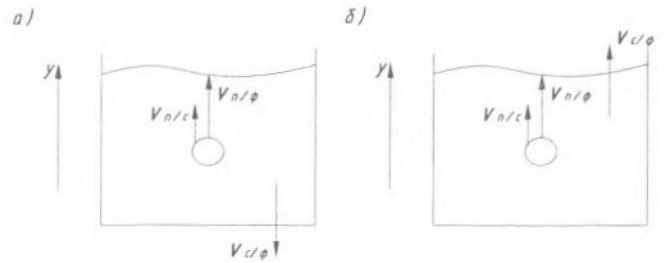


Рис. 3. Схема для определения скорости движения газового пузырька:
а – при применении ударной технологии; *б* – при применении технологии встряхивания

При ударной технологии (рис. 3, *а*) скорость движения газового пузырька $v_{n/c1}$ будет равна:

$$v_{n/c1} = v_{n/\phi} - (-v_{c/\phi}) = v_{n/\phi} + v_{c/\phi} \quad (4)$$

При технологии встряхивания (рисунок 3, б) скорость движения газового пузырька $v_{n/c2}$ будет равна:

$$v_{n/c2} = v_{n/\phi} - v_{c/\phi}. \quad (5)$$

Таким образом, $v_{n/c1} > v_{n/c2}$ и в соответствии с формулой Стокса $F_{conp1} > F_{conp2}$. Следовательно, механическое воздействие по технологии встряхивания способствует более эффективному вспучиванию смеси.

Существующие методы не совершенны, так как в каждом из них присутствуют как преимущества, так и недостатки.

В литьевой технологии необходимо соблюдать высокие требования к сырьевым компанентам и составу смеси.

В ударной и вибрационной имеются сложности в подборе режимов формования (частота, апмлитуда), а также в необходимости частого ремонта площадок, устранения неполадок из-за высоких динамических воздействий.

Поэтому перспективным является совершенствование и развитие новых методов формования ячеистобетонных массивов, таких как штыревые

вибраторы, используемые фирмой Xella (Hebel, Ytong), и технологии встряхивания, разработанной в УО «Полоцкий государственный университет».

Литература

1. Производство и применение ячеистобетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь / Т.Г. Голубева [и др.] // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения: материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26 – 28 мая 2010 г.; редкол. Н.П. Сажнев (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Стринко, 2010. – 148 с.
2. Зейфман, М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов / М.И. Зейфман. – М.: Стройиздат, 1990. – 184 с.
3. Опыт производства и применения ячеистобетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь / Т.Г. Голубева [и др.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ais.by. – Дата доступа: 10.09.12.
4. Сажнев, Н.П. Технико-экономические показатели ячеистого бетона, изготовленного по литьевой технологии / Н.П. Сажнев, Н.Н. Сажнев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ais.by. – Дата доступа: 10.10.12.
5. The AAC compaction unit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mooser.net. – Дата доступа: 10.09.12.
6. Завод YTONG Можайск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hebelblok.ru/dictionary/zavod-ytong-mozhaisk.php. – Дата доступа: 08.09.2012.
7. Установка для вспучивания ячеистобетонных смесей: пат. 5298 Респ. Беларусь на полезную модель / В.В. Бозылев, Е.В. Рядчиков, Д.Н. Шабанов; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № u20080861; заявл. 20.11.2008; опубл. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 3(68). – С. 202.
8. Домбровский, А.В. Исследование ударной технологии формования ячеистобетонных изделий: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / А.В. Домбровский; ВЗИСИ. – М., 1980. – 20 с.
9. Горяйнов, К.Э. Формирование ячеистобетонных массивов высотой до 1,5 м импульсным способом / К.Э. Горяйнов и [др.] // Строительные материалы. – 1983. – № 8.
10. Яворский, Б.М. Справочник по физике для студентов вузов и инженеров / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М., Наука, 1968.

УДК 666.9.002.8-033.33 (043.3)

Лазаренко О.В., канд. техн. наук, доц.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ДЕКОРАТИВНЫЙ СТЕКЛОБЕТОН

Оригинальные проекты жилых домов и общественных зданий предусматривают использование высококачественных и недорогих материалов для фасадов, малых архитектурных форм. Одним из вариантов снижения их стоимости является использование искусственного камня – декоративного (в основном мелкозернистого) бетона.

Ранее нами было установлена возможность использования в качестве заполнителя декоративного бетона твердого бытового отхода – несортированного стеклобоя [1]. Несортированный цветной стеклобой – это бой тарного, оконного стекла, коррозионностойкий и экологически чистый материал.

В настоящее время на территории Республики Беларусь осуществляется сбор около 136 тыс. тонн бытового стеклобоя в год [2], около половины которого дробят, фракционируют. Стоимость 1 т такого стеклобоя составляет 70 тыс. руб., в сравнении: 1 т щебня декоративного гранитного стоит 1 млн. руб.; крошки мраморной – 1,9 млн. руб. Однако масштабного применения бытовой стеклобой не нашел вследствие сложных и энергоемких технологий переработки [3], и большая его часть подлежит захоронению, нанося ущерб окружающей среде.

Возможность широкого применения бытового стеклобоя в качестве заполнителей ограничено его реакционной способностью, вызывающей расширение бетона при твердении [4]. В результате реакции между щелочами цемента и оксидом кремния (щелочно-кремниевой), в порах цементного камня образуется гель, состоящий из силикатов щелочных металлов. Он поглощает воду, увеличивается в объеме, создает давление, которое приводит к разрушению цементного камня.

В настоящее время известны различные способы подавления щелочно-кремниевой реакции [5 – 8]. Нами был выбран комплексный подход к решению данной проблемы: использование силикагеля и снижение водоцементного отношения бетонной смеси. Снижение водоцементного отношения бетона позволит снизить пористость цементного камня, упрочнить его, что повысит сопротивление цементного камня разрушению при набухании геля.

При проектировании состава декоративного бетона в качестве вяжущего был принят серый портландцемент (ПЦ 500-Д20 ОАО «Красносель-

скстройматериалы»). В качестве заполнителя применяли тарный цветной стеклянный бой, с размером зерен менее 0,14 мм до 10 мм Новополоцкого предприятия по переработке твердых бытовых отходов.

Для снижения водоцементного соотношения использовали суперпластификатор С-3. В качестве ингибитора коррозии использовали силикагель технический гранулированный.

Расчет состава бетона проводили из условия, что декоративный бетон должен иметь прочность 15-20 МПа, марку бетонной смеси $П_3$.

Учитывая, что с повышением температуры реакционная способность двуокиси кремния со щелочной средой повышается вследствие увеличения подвижности гидроокиси кальция, что может привести к дополнительному расширению бетона, нами был принят естественный режим твердения и вибролитьевой метод формования.

В ходе экспериментальных исследований определены: оптимальное соотношение цемент: заполнитель; дозировка добавки С-3, процент ввода силикагеля.

Были исследованы прочностные характеристики декоративного бетона с разным соотношением цемент: стеклобой (Ц:С). Прочность образцов определяли в возрасте 3 суток исходя из того, что максимальное расширение бетона происходит через 72 часа после формования образцов. Кроме прочности, основанием для выбора Ц:С являлась декоративность бетона за счет его максимальной насыщенности стекольным заполнителем. Результаты испытаний бетона представлены на рисунке 1.

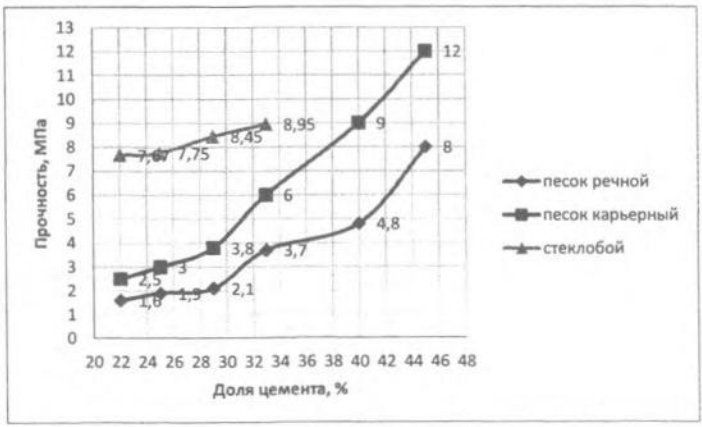


Рис. 1. Зависимость прочности бетона от доли цемента в смеси:
1 – стеклобой; 2 – песок карьерный; 3 – песок речной

При построении зависимостей 2, 3 использованы данные [9].

Увеличение прочности бетона на основе стеклобоя можно объяснить следующим образом: стеклобой имеет большую прочность на сжатие и является реакционно-способным заполнителем. На стадии твердения происходит механическое взаимодействие между клинкерными составляющими и стекольным боем в связи с краеугольной формой его зерен и шероховатостью их поверхности, кроме того составляющие цемента выделяют гидратную фазу, воздействуют на зерна стеклобоя, возникает промежуточный гидратный слой, упрочняющий систему.

Учитывая ожидаемый результат от действия добавки, определяли оптимальный эффект от действия С-3 с разным процентом ее ввода, количество воды затворения для каждого ввода добавки уменьшали на 25%. Результаты испытаний приведены на рисунке 2.

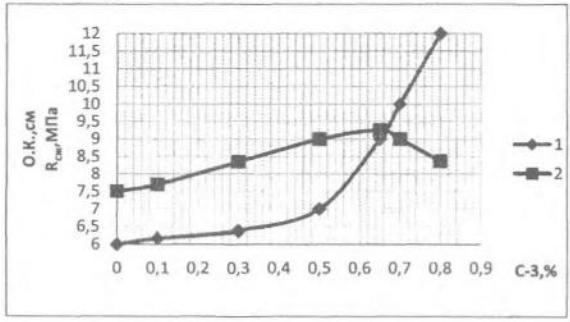


Рис. 2. Зависимость свойств бетонной смеси и бетона от количества добавки С-3:
1 – зависимость С-3-О.К.; 2 – зависимость С-3-Rсж (прочность в возрасте 3-х суток)

Ранее установлено, что количество добавки силикагеля, позволяющее подавить деструкцию бетона, колеблется в пределах 4 – 8 % [8] и зависит от гранулометрического состава заполнителя. Нами было определено влияние размера зерен стекольного заполнителя от 0,14 до 5 мм на прочность бетона в возрасте 28 суток нормального твердения.

Установлено, что зерна заполнителя размером более 1,25 мм, 0,14 мм и менее увеличивают прочность бетона. Это можно объяснить тем, что крупные зерна обеспечивают ему дополнительную прочность, превышающую величину давления геля. С увеличением поверхности заполнителя количество щелочей, приходящихся на единицу поверхности, и геля уменьшается. Благодаря чрезвычайно низкой подвижности гидроокиси кальция в реакции участвует только та ее часть, которая непосредственно контактирует с поверхностью заполнителя. Таким образом, увеличение площади

поверхности приводит к повышению соотношения между гидроокисью кальция и щелочами в контактном слое заполнителя, образуется безвредный, не расширяющийся щелочной силикат кальция.

В составе используемого стеклобоя преобладают зерна в пределах 0,315 – 0,63 мм, около 45,2 %, что приведет к существенному снижению прочности бетона при использовании такого заполнителя без ингибитора коррозии. Процент ввода силикагеля определяли на оптимально подобранном составе с добавкой С-3. Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица

Влияние добавки силикагеля на прочность мелкозернистого бетона на стекольном заполнителе

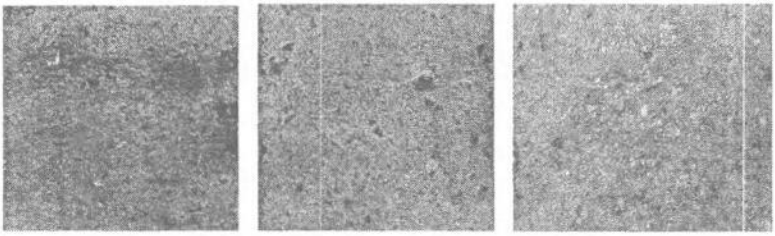
№ состава	Прочность бетона естественного твердения, МПа			
	1 сут	3 сут	7 сут	28 сут
1	10,17	1,38	15,93	22,75
2	13,51	13,98	18,64	31
3	15,7	16,84	20,03	33

В качестве пигментов были использованы зеленый пигмент – оксид хрома и желтый железоокисный с разным процентом ввода. Визуальный осмотр образцов показал, что образцы, изготовленные с оксидом хрома, имели лучшую насыщенность цвета. Кроме того, выявлено:

1) лицевая поверхность образцов с обнаженным заполнителем не отличалась декоративностью (рис. 3, № 1);

2) при применении полиэтиленовой подложки получена глянцевая лицевая поверхность с небольшим количеством мелких сферических пор, что ухудшило эстетический вид поверхности (рис. 3, № 2);

3) наилучшие результаты были получены при засыпке слоя стеклобоя на дно формы (рис. 3, № 3).



1 2 3

Рис. 3. Лицевая поверхность образцов плиток

В результате проведенных исследований установлено, что при получении декоративного бетона на стекольном заполнителе для предотвращения щелочно-кремниевой деструкции достаточно использовать добавку С-3. Однако, учитывая необходимость в ранней распалубке изделий при твердении в естественных условиях и, соответственно, требуемую прочность бетона, нами был разработан оптимальный состав, включающий добавку С-3 и силикагель.

Разработанный состав декоративного бетона может быть использован для изготовления плит для облицовки фасадов и внутренних поверхностей стен, малых архитектурных форм, ограждений балконов и лоджий.

Простая технология их получения позволит изготавливать изделия с минимальными затратами, достаточной декоративности и долговечности, и при этом решать серьезную экологическую задачу – предотвращение загрязнения окружающей среды.

Литература

1. Лазаренко, О.В. К вопросу об утилизации несортированного стеклобоя / О.В. Лазаренко, Ю.В. Суворова // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений: сб. науч. тр. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2011. – Вып. 3. – С. 102 – 105.
2. Ежегодный экологический бюллетень [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minpriroda.by/ru/. – Дата поступления 05.01.2011.
3. Пузанов, С.И. Комплексная переработка стеклобоя в производстве строительных материалов / С.И. Пузанов, А.А. Кетов // Экология и промышленность России. – № 12. – 2009.
4. Lesage R., Sierra r. le Point sur les Reactions Alcalis-granulats dans les Betons Hydrauliques. Взаимодействие между щелочами и заполнителями в бетонах на гидравлических вяжущих // Bull. liais. Lab. Points et chausses. – 1997. – № 90. – P. 103 – 105, 123 – 125, 127, 130.
5. United States Patent 5,755,876, C04B7/42, C04 B7/00. Concrete compositions for controlling alkali-silica reactions in concrete and processes for making same. Palet James E; Hutchens H Wayne; Baxter Steven Z. Publication date 05.02.2002.
6. Пат. C03C13/00, W04C14/02, C04B14/02. Method of suppressing alkaline aggregate reaction in concrete structure Publication date 21.06.2002.
7. Баженов, Ю.М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны / Ю.М. Баженов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – № 10. – С.13 – 19.

8. Белокопытова, А.С. О разработке процессов утилизации стеклобоя для производства комплексных материалов: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.05. – М., 2006. – 18 с.
9. Томин, А.Н. Некоторые аспекты организации сбора и утилизации стеклобоя на Тираспольском стекольном заводе / А.Н. Томин // Стекло мира.

УДК 666.972.16

Бозылев В.В., канд. техн. наук, доц.; Бозылев Д.В.
(ПГУ, г. Новополоцк)

МНОГОСЛОЙНЫЕ СТЕНОВЫЕ ПАНЕЛИ С УТЕПЛИТЕЛЕМ ИЗ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА

Решение задачи снижения теплопотерь в крупнопанельных зданиях обеспечивается за счет перехода на изготовление многослойных наружных стеновых панелей с нормативным коэффициентом сопротивления теплопередаче не менее 3,5. В соответствии с принятой в Республике Беларусь программой технического перевооружения домостроительных комбинатов выполнен монтаж и пуск в эксплуатацию технологических линий, изготовленных в ряде европейских стран, в том числе Италии, Германии, Финляндии.

Институтом НИПТИС (г. Минск) в качестве основного варианта запроектирована наружная стеновая панель, состоящая из слоя тяжелого бетона, который укладывается на дно формы (формуется фасадная поверхность панели). Затем укладывается плитный пенополистирол толщиной 18 см, на который заливается несущий слой тяжелого бетона с последующим заглаживанием и затиркой для получения поверхности, обращенной внутрь здания.

Куски, из которых состоит плита пенополистирольного утеплителя, удерживаются между слоями тяжелого бетона за счет четырех десятков гибких стеклопластиковых связей. Полная механизация работ при укладке бетонной смеси обеспечивается использованием европейских бетоноукладчиков, позволяющих подать бетонную смесь дозированно в любую точку панели.

Нарезка и укладка кусков плитного пенополистирола, сверление в нем отверстий и установка гибких связей ведется вручную и требует привлечения большого числа рабочих. Помимо высокой трудоемкости и стоимости, новые панели имеют малую воздухопроницаемость, значительную теплотехническую неоднородность слоев тяжелого бетона и плитного пенопо-

листирола, в результате не может быть обеспечен благоприятный для проживания микроклимат в жилых помещениях.

В Полоцком государственном университете разработаны конструктивное решение и технология изготовления наружных стеновых панелей, в которых отсутствуют указанные выше недостатки. Для обеспечения оптимальных эксплуатационных показателей предусматривается замена слоев тяжелого бетона на слои керамзитобетона со средним слоем утеплителя, выполняемого не путем укладки плитного утеплителя, а путем заливки полистиролбетонной смеси.

Данное решение обеспечивает резкое снижение трудоемкости работ и сокращение числа занятых рабочих. Отпадает необходимость в установке дорогостоящих стеклопластиковых гибких связей, т.к. использование по всей толщине панели цементного вяжущего обеспечивает защиту от коррозии обычной стальной арматуры.

К достоинствам новой технологии следует отнести возможность изготовления панелей «лицом вверх». В результате гарантируется идеальная внутренняя поверхность панели и не требуются сложные и трудоемкие операции по затирке. В новом варианте фасадная сторона, находясь снаружи, может быть выполнена с декоративными посыпками, легко наносимыми трафаретными узорами, декоративным обрызгом, оштукатуриванием, рифлением и т.д., в зависимости от пожеланий архитектора.

При разработке новой технологии основное внимание было уделено получению полистиролбетона с заданным комплексом эксплуатационных показателей, среди которых следует выделить показатели теплопроводности и прочности. Подбор состава полистиролбетона обеспечивается за счет учета показателей марочной прочности цемента, соотношения воды и вяжущего, соотношения заполнителя и цемента, свойств полистиролбетонного заполнителя и добавок.

Согласно опубликованным данным, если в процессе изготовления полистиролбетона заменить цемент марки «500» на цемент марки «600», то прочность полистиролбетона увеличивается на 20 %. Путем увеличения расхода цемента повысить прочность нельзя, так как при этом возрастет плотность полистиролбетона [1].

Для получения полистиролбетона в качестве заполнителя применяют шарообразные пенополистирольные гранулы размером от 0,3 до 20 мм и плотностью от 0,02 до 0,06 г/см^3. Так, при плотности исходного полимера 2 г/см^3, после вспенивания пористость гранул пенополистирола составляет 97 – 98 %, а плотность 0,02 – 0,06 г/см^3.

Высокая пористость пенополистирола обуславливает линейную зависимость между плотностью пенополистирола и его прочностью на растяже-

ние, а также величиной усилия сжатия для деформации на 10 %. Например, при прочности исходного полистирола до 20 МПа, прочность гранул плотностью 0,02 г/см^3 равна 0,01 – 0,02 МПа, а при плотности гранул 0,06 г/см^3 прочность составляет 0,04 – 0,06 МПа, т.е. увеличивается в 3 – 4 раза.

Выполненные исследования выявили значительное влияние плотности и размера гранул пенополостирола на прочностные показатели полистиролбетона. Повышение плотности пенополистирольных гранул при одновременном уменьшении их размера увеличивают прочность полистиролбетона на 35 – 80 % при одинаковой прочности окружающего гранулы цементного камня.

Влияние свойств и содержания пенополистирола на прочность полистиролбетона отличается от влияния обычных пористых заполнителей на прочность других видов легких бетонов. Для полистиролбетона характерными являются пластические деформации, обусловленные большой деформативностью гранул пенополистирола, появление релаксирующих напряжений, возникающих в бетоне при его нагружении. При этом чем меньше размеры гранул пенополистирола, различия в их размерах и плотности, а также выше плотность и прочность гранул, тем выше прочность полистиролбетона [2; 3].

Определенные сложности при формировании структуры, влияющие на прочностные показатели, связаны с формированием контактного слоя на границе цементной матрицы и гранул пенополистирола. Снижение прочности фазовых контактов (сцепления между цементным тестом и поверхностью частиц) может быть вызвано тем, что поверхность пенополистирольного заполнителя, имеющего закрытые поры, обладает гидрофобными свойствами (заряд на поверхности гранулы полистирола препятствует процессу смачивания) [4].

Поэтому необходимо в составе полистиролбетона использовать химические добавки, меняющие этот заряд на противоположный, чтобы поверхность гранулы проявляла гидрофильные свойства. Кроме того, целесообразно применение и других добавок, в частности, повышающих пластичность раствора (С-3, ТЭА, СДО), повышающих прочность цементного камня на границе контакта с гранулами полистирола (известковое молоко, эпоксидная смола).

Прочность полистиролбетона прежде всего зависит от прочности межпоровых стенок, разделяющих вспененные гранулы заполнителя, поэтому повышение прочности межпоровых стенок – действенный способ увеличения прочности полистиролбетона. Для повышения прочности межпоровых стенок наиболее целесообразно применять снижение водотвердого отношения при увеличении активности как вяжущих материалов

(цемента), так и инертных (песка, шлака, золы) составляющих смеси. Применение этих неоднократно проверенных на практике методов повышения прочности позволяет получать полистиролбетон повышенной прочности при умеренном расходе цемента.

При изготовлении конструкционных полистиролбетонов в составах используют инертные заполнители, например, песок. Здесь также необходимо учитывать определенные особенности. При выборе инертного заполнителя в производстве полистиролбетона необходимо соблюдать условие, что модуль крупности применяемого заполнителя должен назначаться исходя из плотности получаемого материала.

Таким образом, для получения материала низкой плотности, обладающего хорошими показателями прочности на сжатие, необходимо применение инертных компонентов с высокими показателями удельной поверхности материала. В случае, если гранулометрический состав инертных составляющих смеси не удовлетворяет вышеизложенным требованиям, песок (шлак, золу) необходимо измельчить.

Имеются наработки, касающиеся возможности повышения сцепления с цементной матрицей самих гранул полистиролбетона. Однако лучшие результаты прочности сцепления гранул с цементной матрицей достигаются при использовании специальных гранул, имеющих матовую неровную поверхность. С такой неровной поверхностью цемент и песок сцепляются значительно сильнее и гранулы пенополистирола практически не выкрашиваются из полистиролбетона. К сожалению, отечественная промышленность не выпускает таких гранул, изначально предназначенных для использования в полистиролбетонных конструкциях.

С целью повышения гидрофильности пенополистирола известно использование добавки КМЦ, ПВА, акриловой грунтовки, моющих средств, суперпластификатора С-3. Эффективным оказалось предварительное покрытие гранул полистирола известковым молоком, что обеспечило увеличение прочности образцов полистиролбетона на 20 – 25 % [5].

Выполненные исследования позволили получить составы полистиролбетона для использования в стеновых панелях в виде монолитного среднего теплоизолирующего слоя. Полученные результаты защищены патентом [6].

Литература

1. Рекомендации по применению ПСБ при строительстве жилых домов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.polistirolbeton.ru /index. php?fid=133. – Дата доступа: 08.09.2012.

2. Полистиролбетон – простое решение сложных задач [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tpribor.ru/articles/polistorilbeton01.html. – Дата доступа: 08.09.2012.
3. Морозов, А.П. Пенобетоны и другие теплоизоляционные материалы / А.П. Морозов. – Магнитогорск, 2008. – 103 с.
4. Дерягин, Б.В. Адгезия твердых тел / Б.В. Дерягин, Н.А. Кротова, В.П. Смигла. – М.: Наука, 1973. – 278 с.
5. Использование современных химических добавок при проектировании составов конструкционного полистиролбетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.polistirolbeton.ru/index.php?fid=176. – Дата доступа: 08.09.2012.
6. Патент РБ №12990 Состав для изготовления полистиролбетонной смеси / Бозылев В.В., Бозылев Д.В. / (МПК С 04В38/08), 2009.

УДК 666.97

Гущин С.В.; Дрозд А.А., канд. техн. наук, доц.
(БНТУ, г. Минск)

ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ВОДОЦЕМЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Одним из наиболее перспективных направлений в начале XXI века в области строительного материаловедения является создание материалов (бетона) с принципиально новыми характеристиками (прочность на сжатие около 200 МПа; модуль упругости в зависимости от вида заполнителей – 50 – 80 ГПа; коэффициент истираемости – 1,3; эффективный коэффициент диффузии хлор-ионов – $0{,}02 \cdot 10^{-12}$ м^2/с). Для получения столь высоких параметров материала, в первую очередь, прочности, необходима реализация новых технологических решений, одно из которых – технология «сухого формования» бетона.

Классическая технология «сухого формования» предполагает уплотнение (различными методами) смеси вяжущего и предварительно высушенных мелкого и крупного (если он применяется) заполнителей, а также наполнителей. А затем уже уплотненная бетонная смесь пропитывается агентом, содержащим воду, необходимую для осуществления процессов гидратации цемента. Обычно применяют воду (холодную либо горячую, под избыточным давлением и без), пар и пр. Применяют и экзотические способы водонасыщения сухой бетонной смеси, например, при формова-

нии используют лед, или в сухую смесь вводят водяные гранулы с оболочкой, в последующем рассасывающейся, и др.

Весьма важное условие получения качественного бетона – обеспечение фиксации размеров уплотненной сухой бетонной смеси в процессе водонасыщения. В противном случае, при попадании воды в свободное пространство и адсорбции ее на поверхности вяжущего и заполнителей, возникают растягивающие напряжения, сопровождающиеся разрыхлением структуры, образующейся как бы бетонной смеси. Термин «как бы бетонной смеси», на наш взгляд, вполне уместен, поскольку она, хотя и представляет собой смесь твердых компонентов и воды, но, в отличие от обычной бетонной смеси, обладает достаточно большими прочностными характеристиками.

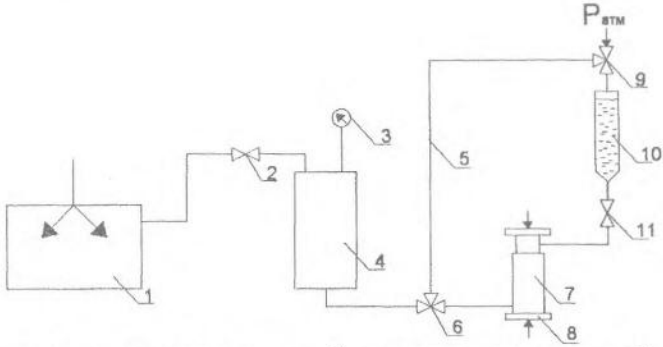
Кроме того, при пропитке водой образуются направленные фильтрационные каналы, в последующем ослабляющие структуру бетона и существенно снижающие его прочность, водонепроницаемость и морозостойкость. Повторное виброуплотнение уже водонасыщенной смеси позволило профессору Э.И. Батяновскому еще десятилетия назад получить бетон с уникальными характеристиками, по некоторым параметрам сопоставимыми с перспективными в настоящее время.

В развитие кратко описанной технологии профессор В.В. Бабицкий и доцент А.А. Дрозд предложили сухую бетонную смесь (либо вяжущее) уплотнять не вибрированием, а прессованием, причем компоненты смеси перед и в процессе уплотнения вакуумируют, освобождая свободное пространство от воздуха и, удаляя воздух, адсорбированный (в значительном количестве) на поверхности твердых частиц. А уже затем в освобожденное от воздуха пространство подают предварительно деаэрированную воду (горячую, холодную, с химическими добавками и пр.). Как показали результаты опытов, прочность цементного камня на обычном рядовом цементе достигает 350 МПа, причем саморазрушение цементного камня, прогнозируемое профессором А.В. Волженским, не наблюдалось.

В БНТУ начаты работы по развитию данной технологии в части разнообразия гаммы используемых вяжущих, минеральных добавок, проверки целесообразности применения дисперсного армирования и др. Для осуществления экспериментов создана пресс-вакуумная установка для изготовления образцов цементного камня и бетона, принципиальная схема, которой представлена на рисунке.

Первоначальная навеска сухой смеси укладывается в форму *7* (для образцов цементного камня внутренний диаметр 50 мм, для образцов бетона – 100 мм). Затем с помощью гидравлического пресса *8* смесь уплотняется при определенном прессующем давлении. Параллельно с этой операцией

включается насос 1 и откачивается воздух из формы *7* со смесью до разряжения (–0,099) МПа. По истечении 2 – 3 минут после создания нужного давления разряжения с помощью крана 6 перекрывается доступ к форме *7*, а открывается к наполненной емкости 10. В течение 2 – 3 минут поддерживается созданное давление разряжения и в емкости *10*. Далее кран 6 возвращается в исходное положение, насос 1 находится в рабочем режиме. Синхронно открываются краны *9*, *11*, и жидкость из емкости *10* моментально начинает поступать в форму *7* по шлангам *5*. Через определенное опытным путем количество времени (в зависимости от состава сухой смеси и прессующего давления) выключается насос 1 и гидравлический пресс *8*. Из формы *7* выпрессовываются готовые образцы-цилиндры, полностью пропитанные жидкостью.



Принципиальная схема пресс-вакуумной установки для изготовления образцов:
1 – насос вакуумный; 2, 11 – кран проходной; 3 – вакуумметр; 4 – рессивер;
5 – шланги гибкие; 6,9 – кран трехходовой; 7 – форма для изготовления образцов цементного камня; 8 – пресс гидравлический; 10 - емкость для жидкости

Вначале была поставлена цель апробировать установку, исследовав влияние прессующего давления и вакуумирования на прочность цементного камня. В качестве вяжущего использовали цемент с удельной поверхностью ориентировочно 300 $м^2$/кг. Цемент засыпали в форму, прессовали при давлениях от 5 до 40 МПа и вакуумировали до разряжения (–0,099) МПа (давление около 0,1 МПа). Затем спрессованную смесь насыщали деаэрированной вакуумной обработки водой при ее односторонней подаче при атмосферном давлении.

Предварительные эксперименты показали, что применение обычной воды приводит не только к замедлению процесса фильтрации, но и вообще к практической невозможности водонасыщения всей толщи смеси. При попадании не деаэрированной воды в обезвоздушенное пространство на-

чинается бурное выделение газов из жидкости, которые уже не адсорбируются на свободной поверхности твердой фазы и не растворяются в воде, а движущимся фронтом жидкости выдавливаются к герметичной грани, противоположной подаче воды. В результате некоторый слой, равный по толщине нескольким миллиметрам, не насыщается водой даже при приложении существенных давлений.

Физическая сущность влияния вакуумирования на процесс фильтрации жидкости при насыщении сухой порошкообразной смеси заключается в возникающем градиенте давления в межзерновом пространстве слагающих её частиц между разряженной газообразной фазой и подводимой жидкостью.

Следует отметить, что при водонасыщении прессованной смеси фронт воды поступает в глубину материала равномерно, ускоренное либо замедленное поступление влаги вдоль стенок формы не наблюдается, как это имеет место при водонасыщении традиционным способом – с отжатием воздуха.

Результаты исследования прочности прессованных предварительно отвакуумированных (и изготовленных по традиционной технологии сухого формования) образцов из сухого вяжущего, пропитанных деаэрированной водой и твердевших в воде в течение 28 суток, представлены в таблице.

Прочность цементного камня

Прессующее давление, МПа	Вакуумирование при давлении 0,1 МПа	Водоцементное отношение	Прочность, МПа
5	Да	0,170	134
5	Нет	0,205	103
10	Да	0,155	165
10	Нет	0,185	125
15	Да	0,150	172
15	Нет	0,170	130
20	Да	0,145	189
20	Нет	0,170	136
25	Да	0,140	195
25	Нет	0,160	147
30	Да	0,135	201
30	Нет	0,160	155
35	Да	0,130	209
35	Нет	0,155	161
40	Да	0,125	215
40	Нет	0,150	176

Полученные данные свидетельствуют, что сочетание прессования цемента с одновременным вакуумированием позволяет без химических добавок получать достаточно низкие величины водоцементного отношения, пока недостижимые при иных средствах уплотнения. Кроме того, при прочих равных условиях прочность образцов цементного камня, изготовленных с предварительным вакуумированием вяжущего, существенно выше, чем без данного технологического передела, то есть имеет место факт активации процессов твердения цемента.

Таким образом, описанная установка показала свою действенность и может быть использована для исследования всей гаммы влияющих факторов.

УДК 621.317.39

Зубцов В.И., д-р техн. наук, проф.;
Шабанов Д.Н., канд. техн. наук; Синкевич С.А.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ЖИЛЫХ И ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В настоящее время во всём мире необходимы новые решения в области обеспечения энергией, которые бы отвечали требованиям защиты окружающей среды. Однако экологически чистую энергетику строить пока не выгодно по разным причинам; либо из-за концентраций потоков используемой энергии (солнца, ветра), либо из-за невыгодного географического положения: затраты на сооружение таких энергоустановок оказываются слишком высокими, так как энергия, которую можно затратить на получение нужных материалов, изготовление, транспортировка и монтаж оборудования станций и линий электропередач получается больше, чем та, которую энергоустановка даст за всю эксплуатацию.

Хотя для некоторых потребителей доставка энергии настолько дорога, что экологически чистые источники энергии уже являются предпочтительными. Но главное в том, что возможности совершенствования таких энергоустановок только начинают изучаться [1 – 3]. И в ближайшей перспективе их стоимость резко снизится. Поэтому затраты на разработку экологически чистых энергоустановок, работающих на возобновляемых ресурсах,

а также на освобождении «замороженных» запасов энергий, например, химической, уже сейчас обоснованы.

Использование в свете новых инженерно-физических аспектов элементов на основе современных сегнето-пьезокерамик [2 – 4] можно отнести к «замороженным» химическим видам энергии. Использование электрохимических источников энергии позволяет получать большой КПД за счёт того, что длинная цепь превращений (энергия топлива и окислителя – внутренняя энергия продуктов сгорания – теплота – внутренняя энергия рабочего тела, т.е. вода, пар и др. – механическая энергия турбины – электроэнергия), происходящих во многих устройствах, например, в электростанциях, заменяется одним процессом в одном устройстве.

Сегнето-пьезокерамики, наиболее распространенные и изученные на основе цирконата - титаната свинца (ЦТС), представляют собой твёрдые растворы структуры типа перовскита. Двухкомпонентные системы оксидов данной структуры АВОз имеют в А-положениях РВ (II), Bi (II), Cd (II), а в В-положениях Ti (IV), Zr (IV), Sn (IV), Hf (IV), т.е. катионы, обеспечивающие сегнетоэлектрические свойства и повышенные температуры Кюри. Среди изученных систем наиболее предпочтительной оказалась РВТЮ3 – PbZrCb (ЦТС). В дальнейшем на основе структуры ЦТС стали создавать многокомпонентные материалы путём модифицирования ЦТС различными добавками.

Можно провести аналогию между поляризацией аккумулятора при зарядке и поляризацией элемента на основе пьезокерамик. Только в случае с аккумулятором имеем жидкий раствор (например, H_2SO_4), а с пьезоэлементом – твёрдый раствор. Под действием внешнего воздействия (электрического или механического) энергия «замороженных» в твёрдом растворе ионов высвобождается. Поэтому энергоустановки для получения электрической энергии на основе пьезосистем можно отнести к энергоустановкам, работающим по принципу освобождения «замороженных» запасов энергии.

Инженерно-физическими аспектами разработки таких энергоустановок являются выбор материала и типа колебаний пьезоэлектрика, конструкции и температурного режима, согласование с нагрузкой и некоторые другие.

Такие энергоустановки могут быть использованы в энергетике жилых и офисных помещений.

Выводы

Решение технологических и инженерно-физических задач позволяет достичь эффективности преобразования механической энергии в электрическую 25 – 30 % и более в зависимости от модификации сегнетоэлектриков и электрических схем. В то время как эффективность преобразования

энергии солнца и ветра примерно 18 % и, кроме того, использование их в Республике Беларусь очень затруднительно. Использование же сегнетоэлектриков в альтернативной энергетике не зависит от погодных условий.

Технологические задачи – это получение многокомпонентных систем твёрдых растворов сегнетоэлектриков с нужными электрофизическими характеристиками. Инженерно-физические задачи сводятся к способу возбуждения колебаний сегнетоэлектрических элементов с высоким КПД использованию высокоэффективных способов преобразования механической энергии и сегнетоэлектрических фазовых переходов с низким диэлектрическим гистерезисом и др.

Литература

1. Зубцов, В.И. Математическое моделирование процессов колебаний пьезопластины с целью разработки преобразователей / В.И. Зубцов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С Фундаментальные науки. – 2004. – № 12. – С. 111 – 120.
2. Зубцов, В.И. Организация и планирование испытаний пьезопреобразователей механических напряжений / В.И. Зубцов // Приборы и средства автоматизации. – 2002. – № 12. – С. 61 – 67.
3. Трофимов, А.И. Измерительные преобразователи механических величин / А.И. Трофимов. – Томск: «ТПИ», 1979.
4. Зубцов, В.И. Преобразователи для контроля механических напряжений внутри деформируемых сред II контроль. Диагностика / В.И. Зубцов, Е.В. Зубцова. – 2012. – № 6 – С. 51 – 57.

УДК 691.327

Парфенова Л.М., канд. техн. наук, доц.; Куликова Ю.В.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ КАВИТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ

Программой развития энергетической отрасли в 2011 – 2015 годах предусматривается строительство ГЭС мощностью около 120 МВт, в том числе двух ГЭС на реке Западная Двина суммарной мощностью 63 МВт (Полоцкая и Витебская) и двух – на реке Неман суммарной мощностью 7 МВт (Гродненская и Немановская) [1].

Актуальной задачей для гидротехнических сооружений остается обеспечение кавитационной безопасности. Натурные наблюдения показывают, что многие гидротехнические сооружения в процессе эксплуатации выходят из строя раньше установленного срока из-за недостаточной стойкости бетонных и железобетонных конструкций к агрессивной среде.

Кавитация – вид разрушения бетона в зонах высоких вакуумов и значительных скоростей течения воды, когда поверхность бетона подвергается «бомбардировке» многократными ударами кавитационных пузырьков, создающих значительные давления [2].

Одним из основных параметров, характеризующих кавитацию, является число кавитации K, равное

$$K = \frac{p_{хар} - p_{кр}}{\rho v_{хар}^2 / 2}, \quad (1)$$

где $p_{хар}$ – характерное абсолютное давление (как правило, осредненное по времени) вблизи обтекаемого элемента – возбудителя кавитации без учета вызванных им возмущений, причем $p_{хар} = p_a + p_{изб}$, $p_{изб}$ – избыточное давление; p_a – атмосферное давление, определяемое в зависимости от высоты местности над уровнем моря; $p_{кр}$ – абсолютное давление, соответствующее давлению водяных паров; $v_{хар}$ – характерная скорость течения вблизи обтекаемого участка поверхности;

ρ – плотность воды.

С уменьшением коэффициента K кавитация становится более развитой. Показано [3], что кавитационная эрозия может возникнуть, если соблюдается условие:

$$K < K_{кр.эр} \cong 0{,}85 K_{кр}. \quad (2)$$

где $K_{кр}$ – критический параметр кавитации для различных элементов или форм неровностей бетонной поверхности.

Повреждение бетона вследствие кавитации довольно легко отличить от обычного размыва. На поверхности, разрушенной кавитацией, имеются зазубрины, в то время как поверхность, поврежденная водой и крупным песком или каменной мелочью, довольно гладкая. Начинается кавитационное разрушение бетона с разрушения его менее прочной составляющей – цементного камня. Затем уносятся потоком обнаженные зерна песка и крупного заполнителя, и эрозия становится более интенсивной, распро-

страняясь на все большую глубину. На практике в таких конструкциях, как водосбросы, при кавитации могут вырываться большие куски бетона.

Воробьевым Г.А. [4] предложено работу материала в зоне кавитации рассматривать как процесс образования, накопления и перемещения дислокаций, которые, сливаясь, образуют полосы скольжения. Выходы дислокаций на поверхность материала приводят к возникновению ступеней, надрезов, что в конечном итоге приводит к образованию и развитию микротрещин, образующих мозаичную структуру, состоящую из отдельных микроблоков. В инкубационный период резко возрастает количество дислокаций, сеть микротрещин становится более мелкой. Размеры блоков микроструктуры тоже заметно уменьшаются. Дальнейшее кавитационное воздействие способствует развитию микротрещин в макротрещины, что и приводит к разрушению поверхностного слоя бетона с выпадением отдельных блоков микроструктуры и к началу «тотального» разрушения.

Сильное влияние на интенсивность кавитационной эрозии оказывает скорость потока. Согласно экспериментальным данным [4] интенсивность эрозии пропорциональна скорости потока υ в степени m. Для бетона показатель степени m может быть рассчитан по формуле:

$$m = 1 + \frac{5{,}94 + 10^{6ld\upsilon - a}}{1 + 10^{6ld\upsilon - a}}, \qquad (3)$$

где a – коэффициент, значение которого принимается равным 10^{-7}–10^{-8};
υ – скорость потока, м/с.

Согласно рекомендациям по контролю за состоянием водосбросных сооружений [3] возможно возникновение кавитационной эрозии бетона при скоростях течения, превышающих 15 м/с, в следующих местах:

– перегибы в профиле при увеличении уклона водопроводящего тракта;
– поворот ограждающих водосброс бортов при расширении водовода;
– выпуклый участок стены при общем повороте водовода;
– места окончания облицовок или обделок водовода;
– гасители энергии (пирсы, шашки, водобойные стенки и т. п.);
– участки водобоя в районе расположения дренажных колодцев, стыки плит и блоков бетонирования и прочие местные неровности (дефекты производства строительных работ).

Проведенный в работе [2] анализ показал, что на кавитационную стойкость бетона оказывают влияние следующие факторы: водоцементное отношение бетонной смеси и содержание вовлеченного воздуха, возраст бетона, качество поверхности бетона, циклическое замораживание бетона и его структура, заполнители, добавки и другие. При этом отмечается [2],

что кавитационную стойкость бетона нельзя однозначно связать с каким-либо одним параметром, хотя наблюдается определенная зависимость между стойкостью и прочностью бетона на сжатие.

Величина водоцементного отношения, качество применяемых материалов напрямую влияют на прочность бетона. Поэтому можно считать, что именно этот показатель является основным в оценке кавитационной стойкости бетона. Так, в работе Г.А. Воробьева [4] утверждается, что зависимость между кавитационной стойкостью бетона и прочностью на сжатие носит линейный характер.

Требования к бетонам для гидротехнического строительства по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости, водопоглощению, истираемости и другим показателям представлены в стандарте СТБ 2221-2011 [5]. Нормативным документом для получения необходимых характеристик бетона рекомендуется использовать соответствующие цементы и их расход, мелкий и крупный заполнители, подобранные по зерновом составу, а в качестве модификаторов – пластифицирующие добавки.

Однако в последнее время внимание специалистов обращается на возможность использования в гидротехническом строительстве современных строительных композитов, в частности дисперсно-армированных бетонов (фибробетонов), в которых воедино собраны лучшие качества отдельных составляющих. При этом именно гидротехническое строительство является той областью, в которой достоинства фибробетона (высокие прочность и трещиностойкость, износостойкость, непроницаемость и др.) могут быть реализованы с наибольшей эффективностью.

В Республике Беларусь сталефибробетон имеет пока ограниченное применение. Используется, в основном, при возведении монолитных полов и дорожных покрытий, а также отдельных сборных изделий. Выпуск стальной фибры в республике организован на предприятиях РУП «БМЗ» и ОАО «Танис». Проектирование и изготовление сталефибробетонных конструкций осуществляется в Республике Беларусь по «Рекомендациям по проектированию и изготовлению строительных сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением стальной фибры БМЗ» [6] при научно-техническом сопровождении РУП «Институт БелНИИС». Кроме стальной фибры РУП «БМЗ» в республике также активно применяется фрезерованная фибра ЗАО «Курганстальмост» по Рекомендациям [7].

Гидротехнические бетоны подвергаются значительному химическому воздействию воды, которое приводит к выщелачиванию бетона и коррозии арматуры. Если в железобетонных элементах значительные по объему продукты коррозии арматуры вызывают появление радиальных растяги-

вающих напряжений, которые приводят к разрыву бетона и к появлению продольных трещин в защитном слое бетона, то небольшие по объему продукты коррозии стальной фибры не приводят к появлению трещин в структуре бетона, а наоборот, кальматируют поры, и процесс коррозии носит затухающий характер.

Во избежание коррозии бетонных гидротехнических конструкций, целесообразно использовать в качестве фибр синтетические волокна, которые стойки к химическому воздействию агрессивных сред.

Практически все виды синтетических волокон (нейлоновые, капроновые, полипропиленовые и др.) обладают химической стойкостью к воздействию щелочной среды. Известно, что введение синтетических волокон в бетон не приводит обычно к заметному повышению прочности бетона на растяжение, сжатие и изгиб при действии статических нагрузок, так как бетон не в состоянии передать статические усилия на волокна, которые обладают более низким по сравнению с бетоном значением модуля упругости.

При отношении $E_f / E_c < 1$ (E_f – модуль упругости волокна; E_c – модуль упругости бетона) повышается ударная прочность и сопротивляемость материала истираемости. Это важные параметры для гидротехнического бетона, подверженного воздействию движущейся воды.

Введение в сталефибробетон полипропиленового волокна обеспечивает однородность распределения стальных фибр по объему, снижает пористость сталефибробетона и увеличивает ударостойкость. Отмечается [8], что совместное введение в бетонную смесь стальной и синтетической фибры привело к 5 – 10 кратному увеличению ударной выносливости по сравнению с исходным тяжелым бетоном.

Успешное решение вопросов массового применения фибробетонов в гидротехническом строительстве связано с наличием дешевых и недефецитных волокон отечественного производства.

Исследования, выполненные в работе [9], показали эффективность применения в качестве фибры отбракованных полиакрилонитрильных волокон «Нитрон» завода «Полимир» ОАО «Нафтан». Определено, что оптимальными критериями армирования бетона волокном нитрон являются длина волокна 60 мм и расход 5 кг на 1 $м^3$ бетона. Истираемость бетона, армированного волокном нитрон, снижается при увеличении содержания волокон. При оптимальном расходе волокна нитрон 5 кг на 1 $м^3$ бетона истираемость уменьшилась на 21,7 %. Армирование волокном нитрон меняет характер деформирования бетона, обеспечивает более высокую вязкость и более высокую энергоемкость процесса разрушения, что в целом увеличивает ударную выносливость бетона в 1,5 раза по сравнению с неармированным бетоном.

Дальнейшее углубление знаний о процессах формирования структуры и свойств фибробетонов, о взаимосвязи интенсивности кавитационной эрозии с составами и технологическими процессами приготовления позволит расширить области применения фибробетонов при строительстве и ремонте гидротехнических объектов различного назначения.

Литература

1. Становление энергетики Беларуси. Путь длиною в жизнь // Энергетическая стратегия. – 2011. – № 2. – С. 20 – 29.
2. Витер, В.К. Разработка техники и технологии исследования кавитационных явлений в гидравлических системах: дис…канд. техн. наук: 05.02.02 / В.К. Витер. – Красноярск, 2003. – 191 с.
3. Рекомендации по анализу данных и контролю состояния водосбросных сооружений и нижних бьефов гидроузлов: П 75-2000. Введ. III кв. 2000 г. – Санкт-Петербург: ВНИИГ, 2000. – 33 с.
4. Воробьев, Г.А. Кавитационная безопасность гидротехнических сооружений: автореф. дис. …канд. техн. наук: 05.23.07 / Г.А.Воробьев. – М., 1989. – 36 с.
5. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия: СТБ 2221-2011. – Введ. 30.09.2011. – Минск: Госстандарт, 2012. – 20 с.
6. Рекомендации по проектированию и изготовлению строительных сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением стальной фибры БМЗ: Р1.03.054-2009. – Минск: РУП «Институт БелНИИС», 2009. – 106 с.
7. Рекомендации по проектированию строительных сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением фрезированной фибры ЗАО «Курганстальмост»: Р5.03.084.11. - Минск: РУП «Институт БелНИИС», 2011. – 87 с.
8. Парфенов, А.В. Ударная выносливость бетонов на основе стальной и синтетической фибры: автореф. дис…канд.техн.наук: 05.23.05 / А.В. Парфенов. – Уфа, 2004. – 19 с.
9. Парфенова, Л.М. Эффективность армирования бетонов волокнами нитрона / Л.М.Парфенова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – С. 84–86.

УДК 666.973.3

Бозылев В.В., канд. техн. наук, доц.; Драгель А.А.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ПЕНОБЕТОНА ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ ФИБРОЙ

В настоящее время в Республике Беларусь наиболее распространенными стеновыми материалами в жилищном строительстве являются ячеистые бетоны. Для наружных стен введен новый нормативный показатель сопротивления теплопередачи, равный 3,2. Таким образом, государство законодательно определило условия для снижения расходов энергии на поддержание комфортного теплового режима в зданиях.

Поэтому к технологии ячеистых бетонов, применение которых способствует снижению материалоёмкости возводимых объектов и расходов энергии на их эксплуатацию, обращено пристальное внимание ученых и практиков. В условиях постоянного и быстрого роста цен на энергоносители особой привлекательностью обладают изделия из ячеистых бетонов неавтоклавного твердения. Практически все разновидности пенобетонов естественного твердения характеризуются интенсивным развитием усадочных деформаций как в период набора прочности, так и в течение первых трех лет эксплуатации. Причем, чем меньше средняя плотность, тем выше усадка. Усадка пенобетонов неавтоклавного твердения плотностью 300 –400 кг/м^3 может достигать 7 мм/м [1].

Параметры усадочных деформаций предопределяют эксплуатационные свойства бетонов и долговечность изготовляемых из них конструкций. Важнейшей причиной развития усадочных деформаций в пенобетонах неавтоклавного твердения являются трещины, возникающие в межпоровых перегородках материала в ходе технологической переработки исходного сырья и твердения цементного вяжущего. При условии устранения трещин или причин, ведущих к их возникновению, возможно существенное снижение усадочных деформаций. Экспериментально этот тезис подтверждается результатами исследований, выполненных в Полоцком государственном университете, которые показывают, что дисперсное армирование волокнами целлюлозы позволяет весьма эффективно влиять на размеры усадочных деформаций в пенобетонах неавтоклавного твердения, и, как следствие, на их физические и механические свойства, напрямую зависящие от структуры материала. Причем значение имеет не только процент пор, но и

равномерность их распределения, размер и форма. И если принять во внимание, что процентное соотношение пустот определяет такие важные характеристики материала как теплосопротивление, водопоглощение, объемный вес, то следует признать, что наиболее перспективными для повышения прочности материала являются методы дисперсного армирования, контроля размеров пустот и их распределения.

С теоретической точки зрения при анализе порового пространства можно выделить три типа пустот (пор).

Тип первый – «полезные пустоты»: сферические пустоты правильной формы (рис. 1, *а*) с размерами от 0.1 до 2 мм (в пенобетонной массе их большинство, если не были допущены грубые технологические ошибки). Именно «полезные пустоты», прежде всего, влияют на показатели плотности и теплопроводности готового материала, а также его прочность.

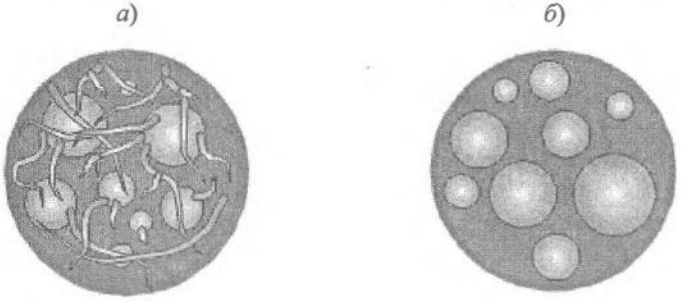


Рис. 1. Типы пустот (пор):
а – сферические пустоты правильной формы;
б – хаотично расположенные капиллярные пустоты

Тип второй – «вредные пустоты первого вида»: хаотично расположенные капиллярные пустоты различного диаметра и протяженности (рис. 1, *б*). Именно эти пустоты второго типа существенно повышают водопроницаемость цементного камня, снижают его морозостойкость и, самое главное, снижают прочность несущих межпоровых стенок. Большое количество капиллярных пор не только делает камень водопроницаемым, но и за счет капиллярного эффекта перемещает воду в соседние блоки, расположенные выше.

Тип третий – очень мелкие поры «вредные пустоты второго вида», преимущественно неправильной формы, хотя встречаются и сферические, расположенные в межпоровых стенках основных, крупных, «полезных» пустот [2].

Для изучения структуры пенобетона с дисперсным армирование были изготовлены образцы. Формование образцов и исследование их структуры проводилось с использованием сырьевой смеси, содержащей цемент, воду, водный раствор пенообразователя ПБ-2000. Твердение образцов осуществлялось в пропарочной камере при заданном режиме твердения.

После разрушения образцов выполнено сравнение структуры пенобетона, полученного с применением дисперсного армирования и без армирования (рис. 2).

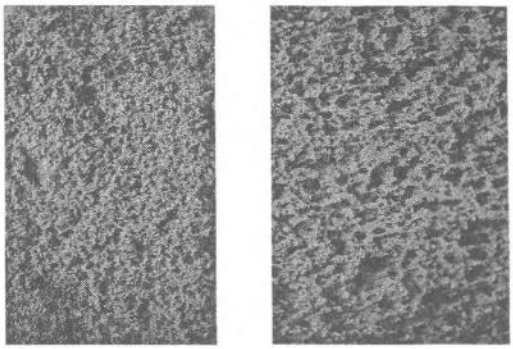


Рис. 2. Сравнение макроструктуры пенобетона (справа)
с дисперсно-армированным волокнами целлюлозы пенобетоном (слева)

Образцы, изготовленные без дисперсного армирования (рис. 2, справа), имеют неоднородную структуру и множество пустот большого размера.

Образцы, изготовленные с применением дисперсного армирования (рис. 2, слева), имеют относительно однородную структуру, причем более равномерное распределение пор наблюдается у кубика, с количеством дисперсно-армирующих волокон 0,5 % от массы вяжущего.

На рисунке 3 показан фрагмент дисперсно-армированных межпоровых стенок образца пенобетона после разрушения.

Также к недостаткам пенобетона относится высокий показатель адсорбционной влажности, что проявляется как в процессе изготовления (данный показатель приводит к длинному периоду приобретения отпускной влажности), так и в процессе эксплуатации зданий (влага накапливается в толще стены в осеннее-весенний период, что приводит к снижению теплозащитной характеристики стен).

В лабораторных условиях определена скорость снижения влажности пенобетона марки D450 с разным процентом дисперсного армирования, согласно ГОСТ 12730.2-78. Измерения влажности образцов проводились с

момента их распалубки до постоянной массы. Данные проведенного исследования приведены в таблице 1.

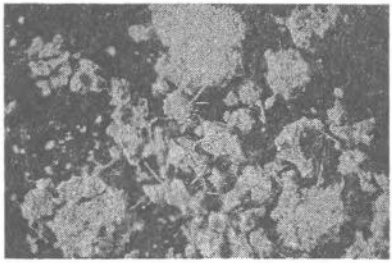


Рис. 3. Фрагмент дисперсно-армированных межпоровых стенок образца пенобетона после разрушения

Таблица 1

Изменение влажности образцов
с различными показателями дисперсного армирования

% дисперсного армирования	Влажность образцов по суткам, %									
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
0	23,9	16,4	10,9	6,7	5,1	3,0	1,6	0,9	0,3	0,0
0,5	27,7	17,2	10,9	6,5	4,8	2,4	0,9	0,3	0,0	0,0
1	26,9	16,9	9,6	6,1	4,2	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0

Полученные данные свидетельствуют о том, что дисперсное армирование пенобетона волокнами целлюлозы не только повышает его прочность на сжатие, но и уменьшает время достижения им равновесной влажности. Так, образец с содержанием дисперсно-армирующего волокна 1 % от массы вяжущего, несмотря на более высокую начальную влажность (на 3 процентных пункта), достигает постоянной массы на 4 суток раньше контрольного образца. Следовательно, использование разработанных составов пенобетона с дисперсным армированием волокнами целлюлозы позволит сократить время достижения изделиями отпускной влажности и позволит обеспечить низкие показатели адсорбционной влажности стен в процессе эксплуатации.

Были выполнены сопоставительные исследования плотности и прочности пенобетона, полученного с применением разного процента дисперсного армирования волокнами целлюлозы.

Результаты выполненных экспериментов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения средней плотности и прочности образцов

Наименование показателей	Процент армирования дисперсными волокнами, %			
	0	0,5	1	2
ρ, кг/м^3	423,54	453,98	468,62	477,15
σ, МПа	0,59	0,72	0,54	0,41

Полученные данные свидетельствуют о том, что при введении фибры изменяется характер пористости – плотность ячеистого бетона, полученного с применением дисперсного армирования, возрастает с увеличением количества вводимого дисперсно-армирующего волокна.

Прочность образцов также возрастает по мере увеличения количества вводимого дисперсно-армирующего волокна до определенного предела (в данном опыте до 0,5 % от массы вяжущего). При количестве волокон 0,5 % от массы вяжущего прочность образцов возросла на 18 %. Дальнейшее увеличение количества дисперсно-армирующего волокна приводит к снижению прочности.

Ниже приведены результаты определения показателей средней прочности ячеистых бетонов с дисперсным армированием с пересчетом состава на показатель. средней плотности D500. Результаты выполненных экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения средней прочности по образцам из пенобетона D500

Наименование показателей	Процент армирования дисперсными волокнами, %			
	0	0,5	1	2
σ, МПа	0,75	0,82	0,68	0,47

Полученные данные свидетельствуют о том, что прочность образцов класса по средней прочности D500 возрастает по мере увеличения количества вводимого дисперсно-армирующего волокна до 0,5 % от массы вяжущего. Однако прочность возрастает в значительно меньшей степени в сравнении с результатами изменения прочности образцов класса по средней плотности D450. При количестве волокон 0,5 % от массы вяжущего прочность образцов класса по средней прочности D500 возросла лишь на 9 %. Это свидетельствует о том, что дисперсное армирование особенно эффективно при изготовлении пенобетонов низкой плотности.

Выполненные эксперименты позволяют сделать **вывод** о перспективности работ по дисперсному армированию пенобетона волокнами целлюлозы с возможностью обеспечения как роста прочностных показателей, так и возможности снижения времени достижения равновесной влажности.

Литература

1. Махамбетова, У.К. Современные пенобетоны / У.К. Махамбетова, Т.К. Солтанбеков, З.А. Естемесов. – СПб.: ГУПС,1999. – 161 с.
2. Проблема получения качественного пенобетона // ООО «СтройМеханика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.torgblok.ru/publications 03.html. – Дата доступа: 01.02.11.
3. Обзор технологий производства пенобетона // Строй-бетон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ibeton.ru/intro_main.php. – Дата доступа: 12.10.11.
4. Пенобетон: Технология производства // Новые технологии для бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ntb.org.ua/ntb/ technologies / building/pbeton/technol/. – Дата доступа: 11.10.11.

УДК 624.0733-416.042

Шабанов Д.Н., канд. техн. наук; Прокоп А.А.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

На данный момент трудно представить себе стройку без использования строительной арматуры. Стеклопластиковая арматура (СПА) по праву занимает все более прочные позиции в современном строительстве. Уже несколько десятков лет ученые многих стран пытаются создать свою идеальную модель зажимов для испытаний стеклопластиковой арматуры. Проделана огромная работа, но не было найдено наилучшего решения этой проблемы. Создатели зажимов для СПА стремились воздействовать на неё путём увеличения контактной площадки зажимных элементов, при этом не решалась проблема возникновения концентраторов напряжений (рис. 1).

В этих устройствах контактная поверхность имеет рифление, обратное рифлению композитной арматуры, для лучшего сцепления. Данные устройства имеют стальные клинья, которые в момент испытаний закли-

нивают арматуру для увеличения степени обжатия. Как показал опыт при использовании стальных клиновых захватов разрушение образцов происходит большей частью в захватах.

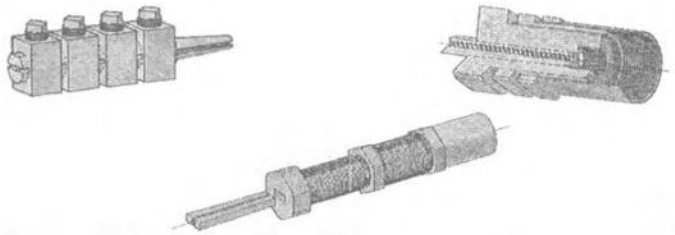


Рис. 1. Устройства для крепления концов СПА

(Е.Е. Генина, канд. техн. наук, доцент)

В Полоцком государственном университете было разработано устройство для крепления концов СПА при испытаниях [1]. Сегмент с прорезью позволяет достигнуть нужной степени обжатия стеклопластиковой арматуры (рис. 2). Однако сегмент из металла не позволил избежать концентрации напряжения.

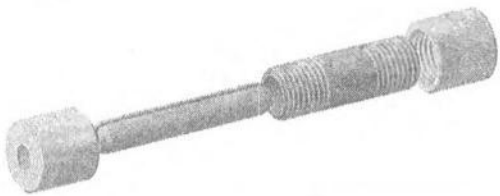


Рис. 2. Устройство для крепления концов стеклопластиковой арматуры

Ещё один запатентованный вариант захвата показан на рисунке 3.

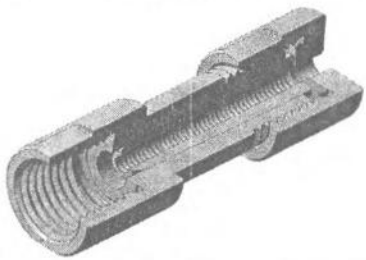


Рис. 3. Устройство для крепления концов стеклопластиковой арматуры

Этот захват (рис. 3) имеет клиновидный сегмент из композиционного материала, который решил проблему возникновения концентраторов напряжений. Ещё одной особенностью конструкции захвата является то, что он имеет возможность соединения с аналогичным захватом, вследствие чего увеличивается площадь обжатия.

Однако усилие обжатия не регулируется. Эта проблема решена в следующих захватах (рис. 4).

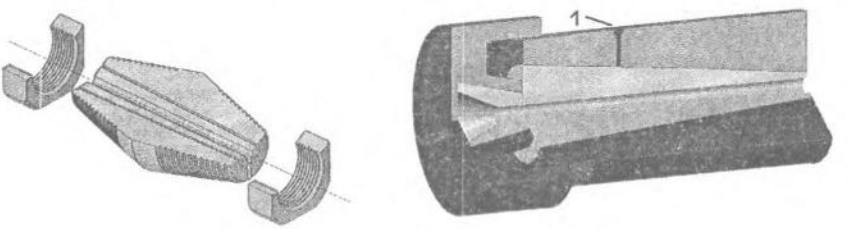


Рис. 4. Устройства для крепления концов СПА:
1 – форсунка

Дальнейшие исследования были направлены на создание стеклопластиковой арматуры периодического профиля с утолщениями.

Арматурный композитный стержень (рис. 5) содержит волокна, объединенные в скрученные жгуты, количество жгутов должно быть два. При этом стержень имеет утолщения по концам и в промежутке между ними.

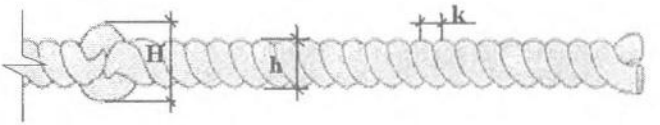


Рис. 5. Стеклопластиковая арматура:
H – наружный диаметр (17 мм); h – внутренний диаметр (10 мм);
k – шаг навивки (15 мм)

Выполненные утолщения на несущем стержне обеспечивают большую площадь сцепления арматуры с бетоном за счёт увеличения площади смятия бетона под утолщениями (F_{CM}). Полученная стеклопластиковая арматура запатентована как полезная модель [3].

Для исследования факторов, влияющих на сцепление СПА с бетоном, была использована установка, представленная на рисунке 6. Наклон клина φ

обусловливает соотношение между поперечным давлением H, которое создает СПА (распором), и продольным усилием P. На рисунке 7, 8 показаны полученные опытным путем зависимости φ и H/P от величины горизонтальной проекции $F_{см}$ площади смятия бетона под утолщением СПА.

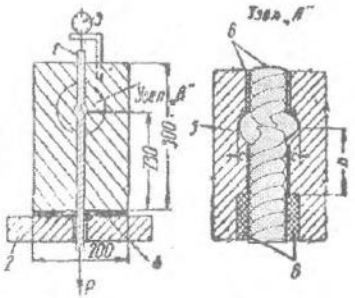


Рис. 6. Установка для испытаний бетона на смятие утолщением СПА:
1 – СПА; 2 – жёсткая плита; 3 – индикатор;
4 – резиновая прокладка; 5 – утолщение; 6 – слой парафина

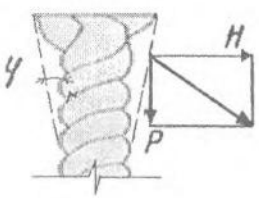


Рис. 7. Схема образования бетонного клина
под утолщеним арматуры

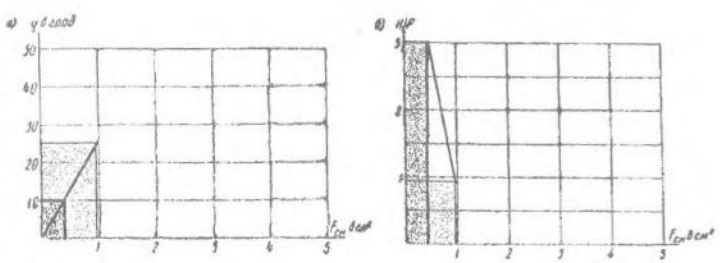


Рис. 8. Зависимость φ и H/P от величины нормальной проекции ($F_{СМ}$) площади смятия при испытаниях бетона кольцевым штампом [4]

Можно сказать, что утолщение у нового вида СПА (рис. 7) является оптимальным, так как угол φ = 20 – 30°, а у арматуры с углом наклона клина менее 20° продольное усилие P превышает поперечное давление *H*, что значительно снижает сцепление СПА с бетоном.

Перспектива расширения области применения заключается в использовании СПА не только в роли связей трёхслойных стеновых панелей, кирпичной кладки, но и для использования в бетонных конструкциях, как альтернатива металлической арматуре (рис. 9).

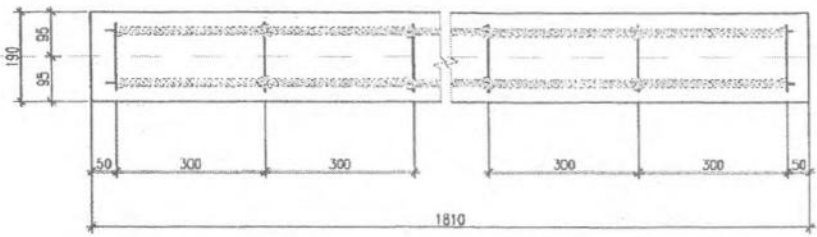


Рис. 9. Схема армирования монолитной перемычки

На данный момент имеется договорённость о разработке рекомендации по применению композитной арматуры производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» в трёхслойных стеновых панелях для КПД с целью использования их проектными организациями при разработке проектов типовых серий для домостроительных комбинатов Республики Беларусь.

Литература

1. Устройство для крепления концов стеклопластиковой арматуры: решение о выдаче патента на полезную модель. – № u20100909; заявл. 11.02.2010 Респ. Беларусь / Д.Н. Шабанов, Г.С. Казанович.
2. Устройство для крепления концов арматуры: решение о выдаче патента на полезную модель № u20110518; заявл. 27.06.2011 Респ. Беларусь / Д.Н. Шабанов, А.С. Никитин.
3. Арматурный композитный стержень: Решение о выдаче патента по заявке на полезную модель 13.07.2012 Республика Беларусь / Д.Н. Шабанов, Н.Н. Попок, А.С. Никитин, В.А. Лавринович, А.А. Прокоп.
4. Прокоп, А.А. Рациональное крепление и физико-механические свойства витой стеклопластиковой арматуры / А.А. Прокоп, А.С. Никитин, В.А. Лавринович // Труды молодых специалистов Полоц. гос. ун-та. – Вып. 60. Серия F. Строительство. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – С. 168 – 171.

УДК 624

Сафончик Д.И., канд. техн. наук, доцент; Бодяк Е.В.
(ГрГУ им. Я. Купалы, г. Гродно)

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ПОТОЛКОВ И ПОЛОВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Для комфортного проживания и работы в зданиях выполняют отделку, которая является не менее важным и ответственным этапом, чем строительство. Насколько уютно, комфортно и удобно будет находиться в помещении, зависит от правильности подобранных материалов и качества выполнения работ.

Отделка придает законченный вид конструкции, формирует внутренний облик помещения, делает его более приспособленным для жизни или работы. Стремясь сделать свое жилище максимально комфортным и удобным, изобретаются все новые и новые материалы, способные удовлетворить самых взыскательных потребителей.

В связи с большим количеством новых отделочных материалов возникает вопрос, где и какие использовать целесообразнее и почему одни можно применять, а другие нельзя. Следовательно, назрела необходимость создания рекомендаций, облегчающих обывателю и производителю работ выбор оптимальных материалов. При этом важно правильно соотнести свойства материалов с функциональным назначением помещения.

Для решения задачи, связанной с выбором оптимальных отделочных материалов, выполнен анализ литературных и интернет источников для установления общих (рис. 1) и специальных требований к этим материалам (табл. 1).

В настоящее время различают пять основных способов отделки потолков: окрашенный (в том числе, оштукатуренный), оклеенный, натяжной, подвесной (в том числе, подшивной) и комбинированный. Окрашивание потолков выполняют алкидными, масляными, эмалевыми, силикатными, клеевыми, эмульсионными красками и декоративными штукатурными составами. При клеевом способе используют рулонные, плиточные, панельные материалы и изделия, приклеиваемые к поверхности потолка. В натяжных потолках – полиэфирные ткани и поливинилхлоридные пленки. Подвесные (в том числе подшивные) монтируют из минерального волокна, металла, армированного гипса, гипсокартона, пластика, дерева, ДВП, МДФ, ЦСП с отделкой шпоном или ламинатом под «дерево».

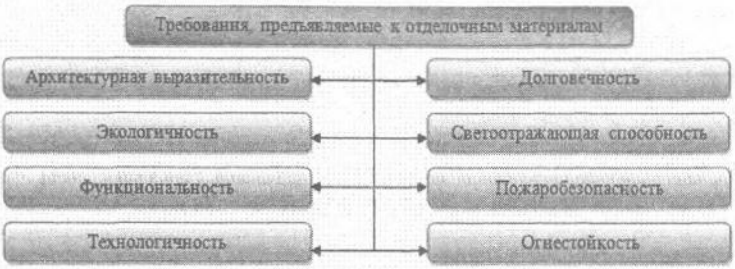


Рис. 1. Общие требования, предъявляемые к отделочным материалам

Таблица 1

Требования к помещениям
в зависимости от функционального назначения помещения

№ п/п	Назначение помещения	Требуемые параметры микроклимата		Специальные (повышенные) требования
		температура, °С	влажность, %	
1	Жилые комнаты	18 – 28	45 – 65	–
2	Кухни	18 – 26	–	Влагостойкость, устойчивость к перепадам температур
3	Санузлы	18 – 26	–	Влагостойкость, стойкость к высоким температурам
4	Коридоры	16 – 22	60	Пожаробезопасность, огнестойкость
5	Лестничные клетки	14 – 20	–	Огнестойкость, пожаробезопасность
6	Подсобные помещения	12 – 22	–	–

В настоящее время наиболее популярными напольными покрытиями являются ламинат и линолеум.

Основными преимуществами *ламината* являются:

– трудновоспламеняемость;

– высокая устойчивостью к механическим воздействиям;

– низкая токсичность;

– сохранение внешнего вида даже при длительных нагрузках;

– простота в эксплуатации.

Недостатки: низкая способность поглощать звук и невозможность его использования в помещениях с повышенной влажностью. Кроме того, ламинат – это материал искусственный, многие его марки способны под воздействием солнечного света выделять фенолы и аллергены, вредные для человеческого организма.

К преимуществам *линолеума* относят: долговечность материала, экономичность, достаточную огнестойкость. Натуральный линолеум сохраняет размеры после укладки. Благодаря входящему в состав линолеума натуральному льняному маслу, материал имеет выраженные бактерицидные свойства и не накапливает статического электрозаряда.

Кроме указанных выше материалов, для отделки полов используют *паркет* и *паркетную доску*, *массивную доску пола*, *пробковые покрытия*, *бетон*, *виниловые покрытия*, *керамическую плитку и мозаику*, *ДСП*, *ДВП*, *фанеру*, *ковровое покрытие*.

Указанные выше материалы были проанализированы с точки зрения их стоимости (табл. 2, 3).

Таблица 2

Стоимость 1 м^2 отделки потолка

Способ отделки и используемый материал покрытия	Стоимость 1 м^2 готового потолка, у. е.	
	Беларусь	Россия
Окрашивание		
- эмульсионная краска	3 – 10	3 – 16
- клеевая краска	3 – 10	3 – 16
- силикатная краска	3 – 10	5 – 12
Отделка декоративной штукатуркой	15 – 50	20 – 50
Оклейка обоями		
- бумажными	3 – 8	5 – 10
- текстильными, жидкими	10 – 18	15 – 20
- металлическими	12 – 25	15 – 30
- стеклообоями	10 – 35	10 – 45
- растительными	8 – 20	8 – 25
Подвесные (подшивные)		
- металл, алюминий	20 – 70	20 – 90
- дерево (массив)	20 – 200	20 – 300
- СМЛ, стекло	70 – 150	100 – 130
Натяжные из полиэфирной ткани	20 – 35	20 – 50

Таблица 3

Стоимость 1 м^2 напольного покрытия

№ п/п	Наименование покрытий	Стоимость 1 м^2, у. е.	
		Беларусь	в Европе
1	Массивная доска	9,0 – 35,0	10,5 – 55,0
2	Паркетная доска (паркет)	35,5 – 124,0	37,5 – 160,0
3	Линолеум	8,2 – 20,5	8,0 – 17,5
4	Мозаика	40,5 – 120,0	37,0 – 90,0
5	Плитка	14,5 – 40,0	15,5 – 67,0
6	Ламинат	14,9 – 24,0	15,5 – 42,5
7	Пробковое покрытие	29,0 – 60,5	45,6 – 76,0
8	Виниловое покрытие	16,5 – 38,0	16,0 – 44,0
9	ДВП, ДСП, фанера	6,5 – 9,0	7,0 – 10,5
10	Ковровое покрытие	7,0 – 30,0	8,5 – 34,0

По проведенным исследованиям составлены обобщающие таблицы 4 и 5, позволяют упростить выбор оптимальных внутренних отделочных материалов с учетом основных факторов.

Таблица 4

Оптимальные материалы для отделки потолков и стен

Назначение помещения	Экологичность	Пожаробезопасность	Минимальная стоимость	Технологичность
Жилые комнаты	Дерево (массив), бумажные обои	Жидкие обои СМЛ	Бумажные обои	Эмульсионная краска
Кухни	Дерево (массив)	Керамическая плитка	Эмульсионная краска	Эмульсионная краска
Санузел	Стекло, керамичекая плитка	Металл, СМЛ	Эмульсионная краска	Эмульсионная краска
Помещения общего пользования	Металл, стекло	Металл	Эмульсионная краска	Эмульсионная краска

Таблица 5

Требования к материалам в зависимости от функционального назначения помещения

Название помещения	Тип применяемого покрытия	Соответствие требованиям:				
		эколо-гич-ности	техно-логич-ности	пожаро-безопас-ности	стоимо-сти	долго-вечности
Коридор	Массивная доска	+	–	–	+	–
	Паркетная доска (паркет)	+	–	–	–	+
	Линолеум	–	+	–	+	+
	Ламинат	+	+	+	+	+
	Виниловое покрытие	–	–	–	–	+
	ДВП, ДСП	–	+	–	+	–
Кухня	Массивная доска	+	+	–	+	–
	Линолеум	–	+	–	+	+
	Плитка	+	–	+	–	+
	Ламинат	+	+	+	+	+
	ДВП, ДСП	–	+	–	+	–
Санузел	Мозаика	+	–	+	–	+
	Плитка	+	–	+	–	+
	Виниловое покрытие	–	–	+	–	+
Комната общего назначения	Массивная доска	+	+	–	+	–
	Паркетная доска (паркет)	+	–	–	–	+
	Линолеум	–	+	–	+	+
	Ламинат	+	+	+	+	+
	Пробковое покрытие	+	–	+	–	+
	ДВП, ДСП	–	+	–	+	–
	Ковровое покрытие	+	+	–	+	–

Таким образом, покупатель, оценив для себя степень важности того или иного критерия, будь то стоимость и долговечность, или же экологичность и пожаробезопасность, и руководствуясь данными таблиц 4 и 5, сможет определиться с выбором наиболее подходящего отделочного материала.

УДК 624.03

Кудёлко О.А., зам. генерального директора
(ЗАО «ЛЕКТ», г. Минск)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ ПРОЕКТНЫХ ОБЪЁМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ, КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ (ОКТР) ЗДАНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ (ТЛЦ)

Существующие подходы по выбору проектных решений транспортных логистических центров, а также зданий, входящих в их состав.

Проектирование – создание моделей, описаний, макетов (проектов) нового или модернизируемого технического объекта здания, сооружения (изделия, процесса), достаточных для изготовления или реализации этого объекта в заданных условиях [1].

Транспортно-логистические центры (ТЛЦ) относятся к категории промышленных предприятий. Поэтому генеральные планы таких объектов учитывают и соответствующую структуру промышленных зданий.

Промышленными называют здания, предназначенные для осуществления производственно-технологических процессов, прямо или косвенно связанных с выпуском определенного вида продукции или полуфабриката [2].

В зависимости от назначения здания ТЛЦ подразделяют на следующие основные группы: подсобно-производственные, энергетические, складские, транспортные, санитарно-технические, вспомогательные.

На территории ТЛЦ строят также специальные сооружения (резервуары, дымовые трубы, различные эстакады и др.).

По архитектурно-конструктивным признакам здания ТЛЦ подразделяют на одноэтажные и многоэтажные.

Центральным зданием комплекса является здание склада, которое в основном со всеми вспомогательными сооружениями проектируется одноэтажным. Дополнительно могут быть запроектированы антресольные этажи, но и в этом случае, в соответствии с [3], здание склада всё равно считается одноэтажным.

Здание склада по конструктивной схеме проектируется каркасным, многопролётным с шагом колонн по продольным осям 12 м и с длиной пролета 18, 24 и 36 м.

Несущий каркас выполняют из железобетона, стали, смешанным.

По характеру застройки территории здание склада сплошной застройки. Остальные – здания павильонной застройки.

Объемно-планировочное и конструктивное решения склада определяются характером технологического процесса, происходящего в нём - консолидация, разукрупнение, перевалка, доработка (отсрочка) и накопление запасов [4].

Наиболее эффективными несущими конструкциями покрытий являются стальные стропильные и подстропильные фермы.

Стены зданий склада являются ограждающими и проектируются из сэндвич-панелей или из профилированного металла, где в качестве утеплителя между двумя поверхностями применяется минеральная вата.

В качестве кровли используются профилированный настил с утеплением минплитой либо сэндвич-панели. Материалом покрытия является ПВХ-мембрана.

В соответствии с требованиями противопожарных норм на кровле устанавливаются люки дымоудаления с автоматическим открыванием створок.

Конструкции для заполнения оконных проемов зданий выполняют из пластика или алюминия.

Для пропуска средств напольного транспорта в наружных стенах здания склада устраивают ворота с автоматическим открыванием. Их расположение и количество определяют с учетом специфики технологического процесса, характера объемно-планировочного решения зданий.

Для облегчения и удобства парковки грузовых автомобилей для ведения погрузочно-разгрузочных работ отметка пола здания склада находится выше отметки подъездной площадки на 1200 мм.

Высота потолков склада – до 15 метров, что позволяет произвести установку многоуровневого стеллажного оборудования. Пол с антипылевым покрытием.

Склады оснащаются оборудованием, регулирующим температурный режим, тепловыми завесами на автоматических воротах докового типа с гидравлическим пандусом, центральным отоплением или принудительной вентиляцией, системами охранной сигнализации и видеонаблюдением, пожарной сигнализации и автоматической системой пожаротушения.

На территории склада располагаются офисные помещения, оснащенные оптико-волоконными телефонными линиями.

Транспортные логистические центры обладают территорией, достаточной для отстоя и маневрирования большегрузных автопоездов, и располагаются на основных магистралях, обеспечивающих хороший подъезд [4].

Подсобные здания и сооружения, входящие в структуру логистического комплекса, имеют разнообразные конструктивные решения (каркасные с ограждающими лёгкими конструкциями, бескаркасные со стенами из кладочных изделий, каркасные с ограждающими стенами из кладочных

изделий, и др.) и проектируются с учётом индивидуальных подходов на конкретном объекте.

При выборе вариантов объёмно-планировочных решений зданий и сооружений логистического комплекса проектировщики руководствуются принципом унификации, стремятся обеспечить приведение к единообразию размеров объемно-планировочных параметров зданий и их конструктивных элементов, изготовляемых на заводах. Тем не менее ТЛЦ в целом проектируются и строятся как индивидуальные.

Перспективным является направление по переходу к типовому проектированию транспортно-логистических центров [5].

В современных типовых проектах, предназначенных для индустриального строительства, обеспечивается унификация объемно-планировочных ячеек или секций, а также типоразмеров многократно повторяющихся элементов зданий и конструкций узлов. Кроме того, использование типовых проектов сокращает затраты средств и времени на проектирование и повышает его качество.

Предлагаемые подходы по выбору оптимальных вариантов объёмно-планировочных, конструктивных и технологических решений (ОКТР) зданий транспортных логистических центров (ТЛЦ)

Информационное обеспечение представляет собой совокупность средств и методов построения информационной базы, необходимой для подготовки рациональных решений [6].

Первым этапом по подготовке и выбору ОКТР является определение класса ТЛЦ и требований, предъявляемых к структуре зданий, входящих в его состав.

Следом за выбором концепции необходимо определить технологические процессы и применяемое оборудование в этих процессах.

На основании этого происходит подбор ОКТР зданий и сооружений ТЛЦ, для чего необходимы следующие источники информации:

– нормативные и законодательные акты по проектированию и строительству (ТР, ТКП, СНБ, СНиП, СТБ, ГОСТ, межгосударственные стандарты, законы Республики Беларусь, Постановления Совета Министров Республики Беларусь, Приказы Минстройархитектуры Республики Беларусь, проекты законодательных актов);

– учебная литература (учебники, согласованные и утверждённые государственными органами для учебных заведений, лекции, рефераты, диссертации, др.);

– зарубежные типовые проектные решения логистических центров (для использования на стадии определения концепции будущего объекта);

– каталоги унифицированных конструкций и деталей для проектирования здания; опыт проектирования и строительства в средствах массовой информации, в том числе и в интернете и др.

Консультативная информация представляется в основном различными интернет-ресурсами, обладающими рекламным характером. При изучении такой информации Заказчику самому крайне затруднительно сформировать общую концепцию ТЛЦ.

К сожалению, сегодня в нашей стране отсутствует универсальный источник информации, содержание которого позволит Инвестору заранее смоделировать для себя вариант ТЛЦ, подходящий под имеющуюся у него концепцию; обеспечит достаточную информацию о вариантах объёмно-планировочных и конструктивных зданий и сооружений, входящих в состав ТЛЦ; предложит перечень и типы основного инженерного оборудования; информирует о системе управления складом и безопасности склада.

При проектировании транспортно-логистических центров и объектов, входящих в состав центра, приходится руководствоваться существующими нормативными документами, которые не отражают специфику таких объектов.

Варианты проектных решений ТЛЦ и зданий этих центров немногочисленны. И поэтому автором предлагается объединить данную информацию в одном документе – Рекомендациях по подбору объёмно-планировочных и конструктивно-технологических решений (ОКТР) при проектировании транспортных логистических центров (ТЛЦ).

Применение предлагаемого документа позволит упростить подходы Инвестора и проектировщиков в выборе вариантов ОКТР и подбора оборудования для проектируемого ТЛЦ.

Литература

1. Грундиг, К.-Г. Проектирование промышленных предприятий. Принципы. Методы. Практика. / К.-Г. Грундиг. – Изд-во: Альпина Паблишер. – 344 с.
2. Большая Советская Энциклопедия. – 3 изд. – М.: Эксмо, 2008.
3. Производственные здания. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-90-2008 (02250).
4. О Программе развития логистической системы Республики Беларусь на период до 2015 года: постановление Совета министров Респ. Беларусь, 29 авг. 2008 г., № 1249.
5. Строительство. Основные термины и определения: СТБ 1900-2008.
6. Автоматизация организационно-технологического проектирования в строительстве / С.А. Синенко [и др.]. – М.: АСВ, 2002. – 240 с.

УДК 69.057.5

Шведов А.П., канд. техн. наук, доц.; Костечко А.И.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ ОПАЛУБКИ В ПОСТРОЕЧНЫХ УСЛОВИЯХ

В настоящее время одним из самых перспективных направлений строительной отрасли как в Беларуси, так и в мире в целом, является монолитное строительство. Монолитное строительство позволяет сократить сроки возведения зданий и сооружений «не типовой» конструкции, также позволяет в жилищном строительстве получать практически любую планировку квартир. Во многом это достигается благодаря применению современных опалубочных систем различного назначения (мелкощитовая, туннельная и т.п.). Одним из основных элементов опалубочных систем является палуба (формообразующий элемент опалубки). Палуба может быть выполнена из различных материалов, таких как: сталь, алюминий, пластик, древесина (материалы на основе древесины: пиломатериалы; фанера различных марок и видов).

В зависимости от объекта, для опалубки можно применять различные виды фанеры. В зависимости от вида опалубки количество циклов использования фанеры может составить от 1 до 100 и даже 200. Максимальное количество достигается при использовании специальных видов фанеры, при должном качестве обслуживания. На сегодняшний день в строительной практике наиболее широко используются следующие разновидности фанеры.

Березовая фанера ФК – наиболее дешевый вариант. Она может быть использована для разовых работ, если нет высоких требований к качеству поверхности бетона. Отличается низкой водостойкостью и малой площадью листа.

Березовая фанера ФСФ отличается большей водостойкостью, по сравнению с фанерой ФК, может применяться для работ с низкими требованиями к оборачиваемости.

Хвойная фанера — фанера, которая производится из древесины сосны, ели или лиственницы. Практически вся производимая хвойная фанера склеена фенольными смолами и относится к классу повышенной водостойкости (марка ФСФ). Для опалубки, как правило, применяется фанера толщиной 18 или 21 мм. Рекомендуется применение там, где не требуется высокое качество поверхности и предъявляются низкие требования к обо-

рачиваемости (как правило, до 5 раз). Данный вид фанеры имеет ряд особенностей при производстве, а это требует специального технологического оборудования.

Возможно повышение оборачиваемости представленных выше разновидностей фанеры при покрытии поверхности фанеры индустриальным маслом. Нешлифованная фанера может иметь существенную разнотолщинность у разных листов, что может создать проблемы стыковки фанеры.

Ламинированная фанера – специально созданная фанера для применения в опалубке. Она представляет собой основу из березовой фанеры марки ФСФ, облицованную специальными пленками или пластиками, и защищенную с торцов специальной акриловой краской (возможно применение для обработки торцов краски ВД-АК-1035у, которая может наноситься валиком вручную). До недавнего времени в Беларуси ламинированная фанера импортировалась из России, но, реализуя Указ Президента Республики Беларусь № 529 от 18.10.2007 [1], отечественные производители освоили выпуск данного вида продукции на ОАО «Мостовдрев». Данный вид фанеры имеет максимальную щелочеустойчивость и водостойкость. В зависимости от типа покрытия, вида опалубки и качества обслуживания можно достигнуть максимальной оборачиваемости (до 200 раз). Покрытие фанеры пленкой обеспечивает максимальную защиту от влаги и гладкую поверхность.

Ламинирование фанеры производят в заводских условиях на специальном прессе [2] при высокой температуре (130 – 145 °С) и давлении 125 –130 бар, что обеспечивает высокую адгезию пленки к фанерной основе. Стандартная плотность пленки, применяемой для ламинирования, составляет 120 г/м^2 (наиболее часто применяемая марка Agepress NJP 120 Dynea, возможно также применение марок TPS 358 120 Coveright; TPS 427 125 Coveright) [3-7]. Для специальных целей производится фанера с покрытием пленками 220 и 440 г/м^2 (чем большее значение плотности пленки, тем более высокие показатели по износостойкости и водостойкости). Ламинированная фанера с покрытием из пленки плотностью 220 г/м^2 рекомендуется для применения в системах стальной либо алюминиевой опалубки.

В последние годы появилась фанера, облицованная специальным пластиком, который обеспечивает более высокие показатели по износостойкости по сравнению с фанерой, облицованной фенольными пленками, но производство такой фанеры более трудоемкое и требует больших финансовых затрат.

Цвет пленки, как правило, темно-коричневый. На заказ можно получить другие расцветки. По желанию возможно нанесение на пленку изображения, логотипов или какой-либо другой информации. Для защиты торцов ламинированной фанеры от влаги применяются специальные краски.

Важнейшую роль для обеспечения высоких значений оборачиваемости фанеры играет культура производства на строительном объекте, качество установки опалубки и ее распалубки, качество очистки при снятии, окупаемость при хранении фанеры между циклами.

Применение специальных разделительных составов (смазки для опалубки) помогает достичь более высокого качества поверхности и повысить оборачиваемость фанеры. Если фанера обрезается на стройплощадке, то для повышения оборачиваемости рекомендуется прокрасить торцы водостойкой защитной краской для древесины.

Рекомендуется проверять фанерные опалубки после каждого использования. Ремонт (наложение заплат, повторное заколачивание гвоздей и др.) необходимо производить своевременно. Фанерные опалубки должны быть очищены и высушены до проведения ремонтных работ. Там, где сорт фанеры и тип опалубки позволяют, фанеру можно заменить. Небольшие трещины и углубления можно заполнить подходящим шпаклевочным составом (на эпоксидной или полиуретановой основе) и отшлифовать.

Даже если фанерная опалубка повреждена до такой степени, что экономически обоснованному ремонту не подлежит, то сама фанера может быть использована в качестве вторичного сырья. Например, в качестве вставок в опалубку, как рама жесткого основания, а также там, где опалубка не убирается (несъемная опалубка).

Применение в опалубочных системах ламинированной фанеры выявило ряд недостатков:

1) достаточно высокие затраты при производстве (что сказывается на стоимости фанеры, а отсюда и стоимости самих строительно-монтажных работ);

2) малая скорость отверждения клея при производстве — соответственно увеличивается время производства фанеры;

3) токсичность фенольных соединений, которые содержаться в смолах, используемых при склейке шпона. Наиболее губительное влияние на здоровье человека оказывают продукты горения смол;

4) расслоение при попадании влаги в необработанные торцы (обработка торцов дает дополнительные затраты, а также увеличивается время производства фанеры при обработке на заводе).

Первые три недостатка устраняются только в заводских условиях, четвёртый можно устранить только на стройплощадке. Данный недостаток связан с составом водозащитной краски. Краска имеет однородный молекулярный состав, поэтому по-разному покрывает слои фанеры, имеющие разную пористость. С учётом разной плотности и пористости слоёв фанеры для её обработки необходим состав, имеющий разномолекулярный на-

бор компонентов. Примером такого состава может служить продукт, получаемый на ОАО «Нафтан» – алкилбензол.

Алкилбензолы различного строения являются сырьём для производства мономеров и поверхностно - активных веществ. Алкилбензолы ОАО «Нафтан» с установки «Псевдокумол» имеют следующие показатели, приведенные в таблице.

Показатели и состав алкилбензолов

№п/п	Наименование показателя	Величина
1	Плотность, г/см^3 при 20 °С	0,85 – 0,86
2	Массовая доля сульфируемых веществ % масс., не менее	98,0
3	Средняя молекулярная масса, г/моль, в пределах	238 – 245
4	Массовая доля воды, ppm, не более	300
5	Массовая доля линейных изомеров. Фенилы C_9, % масс. не более	1,0
6	Фенилы C_{10}, % масс. не более	15,0
7	Сумма фенилов C_{10}-C_{11}, % масс. в пределах	30 – 55
8	Сумма фенилов C_{13}-C_{14}, % масс. не более	30,0
9	Фенилы C_{14}, %масс. не более	1,0
10	Массовая доля парафинов, % масс. не более	0,3 – 4,0

Многими исследованиями подтверждено, что алкилбензолы абсолютно безопасны для окружающей среды [8]. Поэтому они масштабно используются в промышленности.

Как видно из таблицы, в состав алкилбензолов входят компоненты, имеющие различную молекулярную массу. Если использовать их при обработке торцов фанеры, они смогут проникать в поры различного диаметра и закрывать их. Результаты первых исследований показали правильность выбранного направления и необходимость проведения работ по разработке пропиточного состава и технологии его нанесения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Республики Беларусь № 529 от 18.10.2007.
2. Строительная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://library.stroit.ru.
3. Группа компаний «Строй-пресс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.stroy-press.ru.
4. ОАО «Опалубка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: //www. opalubka.by.

5. Строительная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://enciklopedia.stroyka.by.
6. Компания «Карельский лес» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rus-i-p.ru.
7. Технологическая инструкция № 47 на процесс облицовки фанеры пленками облицовочными на линии ламинирования «JAVOR LLVP-01», разработанная на ОАО «Мостовдрев», 2011 г.
8. Моррисон, Р. Органическая химия / Р. Моррисон, Р. Бойд. – 1974. – 1132 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: // www.himi.ru.

УДК 66:502.171

Шейбак Н.А.
(ГрГУ им. Я. Купалы, г. Гродно)

КОМПЛЕСНАЯ ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПТК «ХИМВОЛОКНО»

С целью получения бетонов с заданными характеристиками в их состав необходимо вводить дополнительные компоненты. Часто стоимость таких компонентов значительна, поэтому стремятся заменить эти компоненты вторичными продуктами производства.

В Гродно на ПТК «Химволокно» осуществляется выпуск полиамидных нитей, производство которых связано с необходимостью использования нитритных ванн. Эти ванны применяются для очистки фильер, которые забиваются химическими веществами, входящими в состав волокон полиамида [1].

Очистка выполняется путём обжига, т.к. известно, что полиамид при нагревании в присутствии кислорода разлагается до конечных продуктов: воды, двуокиси углерода и аммиака [2]. Термическое разложение проходит в соответствии со следующим уравнением:

$$\left[-NH-(CH_2)_5-CO-\right]_n + 5O_2 \xrightarrow{t=400\ ^0C} + NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O. \qquad (1)$$

Нагревание фильер производят при температуре 400 °С в течение 10 –12 часов, после чего образуется отработанный нитрит натрия, который отправляется на склад для хранения.

Нитрит натрия при температуре 400 °С разлагается с выделением окислов азота, а оставшийся ион натрия Na^+ нейтрализуется двуокисью углерода CO_2, который с парами воды присутствует в воздухе, образуя нестой-

кую и слабую угольную кислоту H_2CO_3. Химические процессы, происходящие при этом, описываются следующим уравнением реакции:

$$NaNO_2 \xrightarrow[10-12\ ч]{t=400\ ^oC} \left\{\begin{matrix} NO\uparrow \\ NO_2\uparrow \end{matrix}\right\} + Na^+ + H_2CO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + NaNO_2. \quad (2)$$

$$CO_2\uparrow \quad H_2O$$

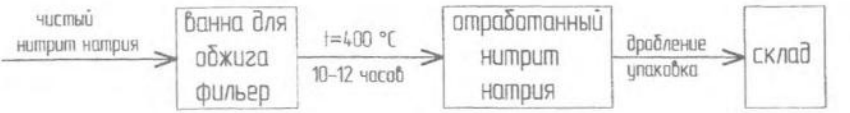


Схема получения отработанного нитрита натрия

До настоящего времени полученный таким образом вторичный продукт полиамидного волокна хранится в шламосборниках. В связи с этим возникла необходимость исследования указанного выше продукта.

Т.к. отработанный нитрит натрия получается в результате использования нитритных ванн, предположено, что основным компонентом будет являться нитрит натрия.

Для определения содержания нитрит-ионов использовался метод окислительно-восстановительного титрования [3].

В соответствии с указанным методом 20 см^3 раствора $KMnO_4$ с концентрацией 0,1 моль-экв./дм^3 мерной пипеткой переносилось в колбу 250 см^3, прибавлялось 100 см^3 раствора H_2SO_4 с концентрацией 2 моль-экв./дм^3 и 60 см^3 дистиллированной воды. Приготовленный раствор нагревался на электрической плитке до температуры 40 – 45 °С и оттитровывался приготовленным исследуемым раствором образца отработанного нитрита натрия до полного обесцвечивания.

В ходе химической реакции между нитритом натрия, перманганатом калия и серной кислотой происходит следующее:

$$5NaNO_2 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5NaNO_3 + 3H_2O. \quad (3)$$

Расчет концентрации $NaNO_2$ проводился по формуле:

$$C\left(\tfrac{1}{2}NaNO_2\right)\cdot V\left(\tfrac{1}{2}NaNO_2\right) = C\left(\tfrac{1}{5}KMnO_4\right)\cdot V\left(\tfrac{1}{5}KMnO_4\right), \quad (4)$$

где $C\left(\tfrac{1}{2}NaNO_2\right)$ – молярная концентрация эквивалента нитрита натрия;

$V\left(\frac{1}{2}NaNO_2\right)$ – объём раствора эквивалента нитрита натрия;

$C\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)$ – молярная концентрация эквивалента перманганата калия;

$V\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)$ – объём раствора эквивалента перманганата калия.

Из формулы (4) выражалась молярная концентрация эквивалента нитрита натрия:

$$C\left(\frac{1}{2}NaNO_2\right)=\frac{C\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)\cdot V\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)}{V\left(\frac{1}{2}NaNO_2\right)}, \qquad (5)$$

$$C(\frac{1}{2}NaNO_2)=0,227 \text{ моль-экв./дм}^3$$

Определение массовой доли $NaNO_2$ в образце отработанного нитрита натрия проводилось по формуле:

$$W(NaNO_2)=\frac{C\left(\frac{1}{2}NaNO_2\right)\cdot V_a\cdot M\left(\frac{1}{2}NaNO_2\right)}{m_0}\cdot 100\ \%, \qquad (6)$$

где $M\left(\frac{1}{2}NaNO_2\right)$ – молярная масса эквивалента нитрита натрия, которая определяется по формуле:

$$M\left(\frac{1}{2}NaNO_2\right)=\frac{M(NaNO_2)}{Z}, \qquad (7)$$

где $M(NaNO_2)$ – молярная масса нитрита натрия, определённая по таблице Менделеева; Z – число электронов, участвующих в процессе окисления или восстановления.

$$M(\frac{1}{2}NaNO_2)=\frac{69 \text{ г/моль}}{2}=34,5 \text{ г/моль}$$

$$W(NaNO_2)=24,9\ \%.$$

В результате установлено, что в исследуемом образце массовая доля нитрита натрия составляет около 25 %.

Для определения содержания карбоната натрия использован гравиметрический метод, основанный на осаждении карбоната бария [4].

Согласно данному методу к 50 см^3 раствора исследуемого образца отработанного нитрита натрия медленно при постоянном перемешивании прикапывался раствор $BaCl_2$ с концентрацией 0,05 моль/дм^3. Прикапывание проводилось до полного выпадения осадка. Осадок отфильтровывался на предварительно взвешенном стеклянном фильтре, промывался водой до отрицательной реакции на ионы Ba^{2+} с Na_2SO_4 и высушивался в сушильном шкафу при температуре 105±2 °С до постоянной массы. Химическая реакция между хлоридом бария и карбонатом натрия протекает по уравнению:

$$BaCl_2 + Na_2CO_3 = BaCO_3 \downarrow + 2NaCl. \qquad (8)$$

Масса осадка $BaCO_3$ составила 0,7536 г.

Определение массовой доли Na_2CO_3 в исследуемом образце отработанного нитрита натрия проводилось по формуле:

$$W(Na_2CO_3) = \frac{m(BaCO_3) \cdot M(Na_2CO_3)}{M(BaCO_3) \cdot m_0} \cdot \frac{V_0}{V_a} \cdot 100\ \%, \qquad (9)$$

$$W(Na_2CO_3) = 25{,}8\ \%.$$

Пересчет массовой доли Na_2CO_3 в долю $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ проводился по формуле:

$$W(Na_2CO_3 \cdot 10H_2O) = \frac{W(Na_2CO_3) \cdot M(Na_2CO_3 \cdot 10H_2O)}{M(Na_2CO_3)}, \qquad (10)$$

где $M(Na_2CO_3 \cdot 10H_2O)$ – молярная масса кристаллической соды, определённая по таблице Менделеева; $M(Na_2CO_3)$ – молярная масса карбоната натрия, определённая по таблице Менделеева.

$$W(Na_2\tilde{N}O_3 \cdot 10H_2O) = \frac{25{,}8\ \% \cdot 286\ \text{г/моль}}{106\ \text{г/моль}} = 69{,}6\ \%.$$

Результаты проведённого исследования представлены в виде таблицы.

Химический состав отработанного нитрита натрия

Наименование компонентов	Ед. изм.	Значение
Нитрит натрия ($NaNO_2$)	%	24,9
Карбонат натрия (Na_2CO_3)	%	25,8
Карбонат натрия десятиводный ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$)	%	69,6
Сажа	%	1
Капиллярная влага	%	4,5

Результаты химического анализа позволяют предположить, что отработанный нитрит натрия можно будет использовать в качестве добавки в бетоны и растворы, и эта добавка при проведении ряда исследований позволит снизить температуру замерзания воды в цементных системах, а также ускорить процесс твердения бетонов и растворов.

Литература

1. Экологические и ресурсосберегающие технологии промышленного производства: сб ст. междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 24 – 25 окт. 2006 г. / УО «ВГТУ»; редкол.: П.А. Витязь [и др.]. – Витебск, 2006. – С. 183–185.
2. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебник / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 528 с.
3. Аналитическая химия. Химические методы анализа / под. ред. О.М. Петрухина. – М.: Химия, 1992. – 400 с.
4. Бабко, А.К. Количественный анализ / А.К. Бабко, И.В. Пятницкий. – М.: Высш. шк., 1968. – 508 с.

УДК 691.53

Шейбак Н.А.
(ГрГУ им. Я. Купалы, г. Гродно)

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ НИТРИТА НАТРИЯ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Противоморозные добавки и добавки-ускорители твердения, как правило, оказывают существенное влияние на сроки схватывания и водопотребность цементного теста, а также на механические свойства цементных систем [1]. На ПТК «Химволокно» в результате очистки технологического оборудования образуется побочный продукт, в состав которого входит нитрит натрия. Но для того, чтобы отработанный нитрит натрия можно было отнести к указанной выше группе добавок, необходимо изучить его влияние на цементные системы [2; 3]. Нормальная густота (НГ) цементного теста определялась в соответствии со стандартной методикой для варианта без добавки, с добавкой нитрита натрия и отработанного нитрита натрия. Полученные результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Влияние модификаторов на НГ и сроки схватывания цементного теста

Вид добавки	% по массе цемента	Нормальная густота (НГ), %	Изменение НГ по отношению к бездобавочному варианту, %
Без добавки	–	28,75	–
$NaNO_2$	0,2	28,50	–0,87
	0,35	28,25	–1,75
	0,5	28,00	–2,65
	1,0	27,50	–4,46
	1,5	27,25	-5,45
	2,0	27,00	-6,42
Отработанный $NaNO_2$	0,2	29,00	0,93
	0,35	29,25	1,72
	0,5	29,50	2,56
	1,0	29,75	3,39
	1,5	30,00	4,20
	2,0	30,25	5,00

Примечание. Использовался портландцемент ПЦ 500-Д20 производства ОАО «Красносельскстройматериалы».

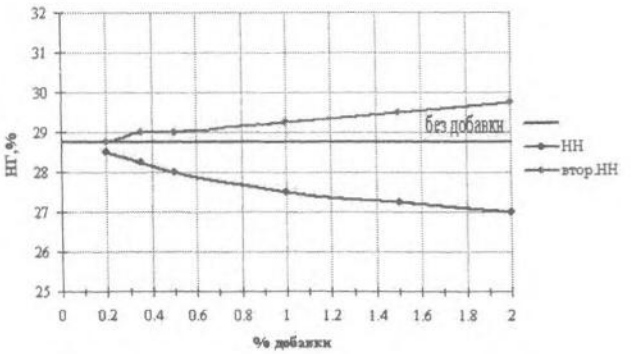


Рис. 1. Влияние добавок и их количества на НГ цементного теста

Установлено, что введение добавки нитрита натрия сокращает водопотребность цементного теста на 1 – 7 %, тогда как отработанный нитрит

натрия, наоборот, приводит к обратному эффекту, т.е. с увеличением количества вторичного нитрита натрия водопотребность цементного теста увеличивается на 1 – 5 %.

Сроки схватывания цементного теста определялись по стандартной методике для цементного теста без добавок и модифицированного. Результаты определения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сроки схватывания цементного теста

Вид добавки	% по массе цемента	Сроки схватывания	
		начало, ч-мин	конец, ч-мин
Без добавки	–	3-40	5-10
$NaNO_2$	0,2	4-10	5-20
	0,35	4-00	4-50
	0,5	3-55	5-00
	1,0	3-45	4-50
	1,5	3-40	4–50
	2,0	3-50	4–40
Отработанный $NaNO_2$	0,2	3-30	4-50
	0,35	3-10	4-25
	0,5	1-10	2-30
	1,0	0-45	1-50
	1,5	0-30	1-10
	2,0	0-20	1-00

НГ цементного теста из портландцемента ПЦ-500-Д0 составила 26,5 %.

По результатам определения сроков схватывания установлено, что нитрит натрия сокращает сроки схватывания относительно бездобавочного варианта незначительно. Отработанный нитрит натрия проявляет себя как более сильный ускоритель схватывания, чем нитрит натрия и позволяет сократить сроки схватывания (начало на 5 – 91 %; окончание на 7 – 81 %).

Используя полученное водоцементное отношение, были приготовлены образцы-кубики с ребром 7,07 см для испытания на центральное осевое сжатие в различном возрасте твердения.

Для эксперимента был использован портландцемент ПЦ 500-Д20.

Результаты испытания представлены в виде таблицы 3.

Таблица 3

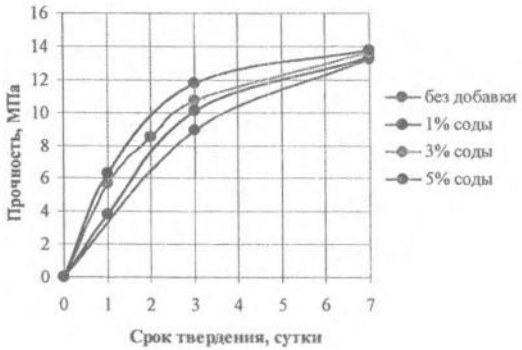
Влияние исследуемых добавок на прочность раствора

Вид добавки	% добавки от массы цемента	Прочность образцов-кубиков, МПа, в возрасте суток							
		1		2		3		7	
Без добавки (при 20 °С)	–	–	–	–	–	8,66 8,40 10,00	8,96	11,14 14,26 14,20	13,2
$NaNO_2$ (при 20 °С)	1	–	–	4,30 4,41 4,54	4,42	6,38 6,37 6,60	6,45	11,24 12,05 11,37	11,55
	5	–	–	6,11 6,37 6,27	6,25	8,27 8,37 8,28	8,31	11,97 11,06 11,45	11,50
	8	–	–	5,14 5,10 5,11	5,12	6,73 6,65 6,68	6,69	10,43 10,19 10,19	10,27
Na_2CO_3 (при 20 °С)	1	3,79 3,77 3,79	3,79	–	–	10,35 10,34 9,97	10,12	13,52 13,28 13,33	13,38
	3	5,83 5,38 5,82	5,68	8,5 8,63 8,47	8,54	10,73 10,68 10,74	10,72	13,53 13,57 13,73	13,61
	5	62,60 63,80 63,10	6,29	–	–	11,8 11,75 11,81	11,79	13,87 13,67 13,85	13,80
Отработанный $NaNO_2$ (при 20 °С)	0,2	1,95 1,92 1,72	1,86	–	–	8,50 7,84 7,63	7,99	12,19 12,52 12,55	12,42
	0,5	2,13 2,13 2,01	2,09	–	–	7,85 7,11 8,92	7,96	12,23 12,37 12,23	12,28
	1	2,00 2,08 1,95	2,01	–	–	8,51 8,23 7,96	8,23	16,40 16,63 16,06	16,36
	3	–	–	6,22 5,1 5,52	5,62	10,09 10,17 10,14	10,13	17,52 17,75 17,40	17,56
	5	–	–	6,7 6,59 6,71	6,67	11,29 11,96 11,51	11,59	18,11 18,37 18,16	18,26
	10	1,35 1,48 2,02	1,62	–	–	8,72	8,46	8,50 11,11 10,83	10,15

а)



б)



в)

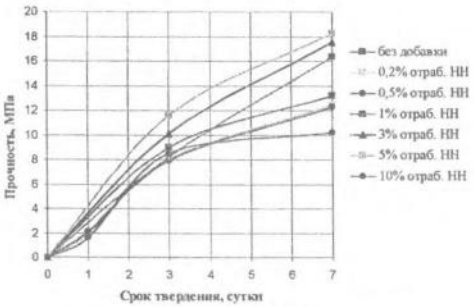


Рис. 2. Влияние добавок на прочность:
а – $NaNO_2$; *б* – Na_2CO_3; *в* – отработанный $NaNO_2$

Из графиков видно, что введение добавки нитрита натрия в количестве 1 – 8 % от массы цемента не увеличивает относительной прочности образцов при твердении в нормальных условиях, но даже несколько её снижает. При этом абсолютная прочность увеличивается, но менее интенсивно, чем в варианте без добавки.

При введении в растворную смесь добавки кальцинированной соды в количестве 1 – 5 %, скорость набора прочности по отношению к бездобавочному варианту резко возрастает на протяжении 1 – 3 суток. Однако на седьмые сутки наблюдается резкое снижение темпов твердения. При введении в растворную смесь добавки отработанного нитрита натрия в количестве 1 – 5 %, скорость набора прочности по отношению к бездобавочному варианту резко возрастает на протяжении 1 – 3 суток. Однако, на седьмые сутки наблюдалось резкое снижение темпов твердения. При введении 0,2 и 0,5 % добавки прочность на 7-е сутки становится несколько ниже, чем в бездобавочном варианте.

Литература

1. Афанасьев, Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н.Ф. Афанасьев, М.К. Целуйко. – Киев: Будивельник, 1989. – 127 с.
2. Экологические и ресурсосберегающие технологии промышленного производства: сб. ст. Международной науч.-техн. конфер., Витебск, 24 – 25 окт. 2006 г. / УО «ВГТУ»; редкол.: П.А. Витязь [и др.]. – Витебск, 2006. – С. 183 – 185.
3. Симанкович, Е.Л. Исследование химического состава комплексной добавки ВНН / Е.Л. Симанкович // Наука 2012: сб. научных статей / ГргУ им. Я. Купалы; редкол.: Г.М. Третьяков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2012. – С. 152 – 154.

УДК 666.972.534

Зеленкевич Д.С., Ягубкин А.Н.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА

Одним из основных условий, обеспечивающих высокие эксплуатационные качества сооружений, является защита их от воздействия воды. Проблема повышения водонепроницаемости бетона является актуальной

задачей. Водонепроницаемость бетона назначают, исходя из допустимой фильтрационной характеристики бетона и стойкости его к коррозии.

Коэффициент фильтрации бетона имеет корреляционную связь с маркой по водонепроницаемости. По рекомендациям ГОСТ 12730.5 [1] для водонасыщенных образцов марки по водонепроницаемости W2 значения коэффициента фильтрации ($К_ф$, см/с) изменяются от $7 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-9}$, W4 – от $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-9}$, W6 – от $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$, W8 – от $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$, W10 – от $6 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}$, W12 – менее $6 \cdot 10^{-11}$.

Одна из первых попыток связать коэффициент фильтрации воды в бетоне с его общей пористостью без дополнительного учета гидравлического радиуса капилляров сделана В.В. Стольниковым [2]. Он предложил приближенную формулу:

$$K_ф = K_c \cdot П_{28}, \qquad (1)$$

где $П_{28}$ – пористость бетона в 28-суточном возрасте; $К_с$ – коэффициент скорости движения воды (для W2 – $К_с = 2{,}6 \cdot 10^6$ см/с; W4 – $К_с = 8 \cdot 10^{-7}$ см/с; W6 – $К_с = 4 \cdot 10^{-7}$; W8 – $К_с = 2 \cdot 10^{-7}$ см/с; W14– $К_с = 7 \cdot 10^{-8}$ см/с).

Вместе с тем, получение водонепроницаемого бетона во многих случаях связано с заметным увеличением расхода цемента, поэтому учет требований по водонепроницаемости бетона при проектировании его состава может быть определяющим.

Увеличение расхода цемента для повышения водонепроницаемости бетона может составлять 50% и более. Это приведет к увеличению стоимости 1 $м^3$ бетона на 160 – 200 тыс. бел. руб.

Сложность задач проектирования составов водонепроницаемого бетона заключается в необходимости увязки В/Ц и расхода воды, определяющих расход цемента, а также вида применяемого цемента и добавок, с требованиями обеспечить прочностные свойства, морозостойкость с необходимым тепловыделением.

Однако, самым технически и экономически выгодным способом повышения непроницаемости бетона, по мнению большинства ученых, является использование специальных добавок в бетонную смесь: добавок-уплотнителей; гидрофобных добавок; «набухающих» добавок; гидрофобизирующих добавок; добавок-пластификаторов; комплексных добавок.

Добавки-уплотнители повышают водонепроницаемость бетона за счет применения минеральных или водорастворимых веществ. В качестве минеральных веществ используются тонкомолотые и тонкодисперсные минеральные добавки из сырьевых материалов: гранулированные доменные шлаки, золы и шлаки теплоэлектростанций. Рассмотренные минеральные

вещества являются отходами и поэтому экономически эффективны, однако водонепроницаемость бетона они повышают незначительно [3].

К водорастворимым добавкам-уплотнителям бетонов относятся следующие вещества: хлорное железо, силикаты натрия и калия, нитрат кальция, сульфат аммония и др. Особенность нитрата кальция заключается в том, что он в своей структуре имеет активный ион кальция (Са). Взаимодействие одних и тех же ионов добавки НК и продуктов гидратации цемента позволяет получить равномерную структуру цементного камня, а благодаря особенности воздействия на гидратацию двукальцивого силиката и реакции превращения эпоксида с аммонием в амин позволяет значительно увеличивать динамику набора прочности бетонов в течение долгих лет [2].

Основным недостатком нитрата кальция является невозможность применения термо-влажностной обработки бетона. Сульфат аммония и хлорное железо существенно снижает коррозионную стойкость бетона и арматуры. Силикат натрия снижает прочность бетона на 25–30% [2].

Стоимость водорастворимых добавок приведена в таблице 1.

Таблица 1

Стоимость водорастворимых добавок-уплотнителей

Добавка	Стоимость, бел. руб. за 1 кг	Средний расход добавки на 1 м^3 бетона, кг	Стоимость на 1 м^3 бетона, бел. руб.
Хлорное железо	100 000	2	200 000
Силикат натрия	11 000	14	154 000
Нитрат кальция	7 000	20	140 000
Сульфат аммония	3 000	40	120 000

Таким образом, из водорастворимых добавок-уплотнителей наиболее экономически выгодной является добавка сульфат аммония, которая на 40% выгоднее добавки «хлорное железо», на 22% выгоднее силиката натрия, на 14% выгоднее нитрата кальция и на 33% выгоднее увеличения расхода цемента.

Гидрофобные добавки адсорбируются на зернах цемента в виде тончайших (мономолекулярных) слоев и образуют на их поверхности водоотталкивающую пленку. При этом они влияют на процессы твердения, способствуя образованию цементного камня с более однородной и мелкозер-

нистой структурой. К гидрофобным добавкам относятся битумная эмульсия, церезит. Рекомендуемые дозировки 5–10 % от массы цемента.

После введения битумных эмульсий в бетонную смесь при ее затворении повышается не только водонепроницаемость, но и морозостойкость, щелочеустойчивость, улучшаются и другие свойства бетона [3].

Главным недостатком данных добавок является точность их дозировки. При недостаточном количестве вводимой добавки бетон приобретает специфические свойства лишь частично, а при избыточном количестве увеличивается пористость цементного камня и снижается его прочность вследствие усиленного вовлечения воздуха в бетонную смесь [3]. Стоимость гидрофобных добавок приведена в таблице 2.

Таблица 2

Стоимость гидрофобных добавок

Добавка	Стоимость, бел. руб. за 1 кг	Средний расход добавки на 1 м^3 бетона, кг	Стоимость на 1 м^3 бетона, бел. руб.
Битумная эмульсия	25 000	40	1 000 000
Церезит	50 000	20	1 000 000

Анализ данных таблицы 2 показывает, что гидрофобные добавки имеют высокую стоимость, а следовательно являются экономически невыгодными.

К «набухающим» добавкам относятся бентонитовая глина, бентонитовый цемент. Однако эти добавки достаточно дефицитные и дорогие, что делает их использование в современном строительстве практически невозможным. Из примеров их применения можно отметить строительство метрополитенов [4].

К гидрофобизирующим добавкам относятся абиетат, олеат натрия, кремнийорганические гидрофобизаторы (ГКЖ) и др. Особенностью рассматриваемых добавок является гидрофобизация ими воздушных полостей в бетоне. Образуются системы условно замкнутых воздушных полостей, что приводит к снижению проницаемости, возрастанию морозостойкости.

Преимущества гидрофобизующих добавок сводятся к следующему: они несколько замедляют сроки схватывания цемента; увеличивают подвижность бетонной смеси и цементных растворов, что дает возможность при постоянной удобоукладываемости принять меньшее водоцементное отношение; снижают водоотделение; несколько уменьшают усадочные явления в бетоне; повышают сопротивляемость бетонных смесей расслоению и не влияют на сцепление бетона с арматурой.

Гидрофобизирующие добавки оказывают непосредственное пластифицирующее действие на частицы цемента, образуя на поверхности зерен водные пленки. При этом гидратация цемента и нарастание механической прочности в начальные сроки твердения несколько замедляются. Затем они не препятствуют нарастанию прочности [4].

Стоимость гидрофобизирующих добавок приведена в таблице 3.

Таблица 3

Стоимость гидрофобизирующих добавок

Добавка	Стоимость, бел. руб. за 1 кг	Средний расход добавки на 1 м^3 бетона, кг	Стоимость на 1 м^3 бетона, бел. руб.
ГКЖ	60 000	0,5	30 000
Алюминат натрия	30 000	0,2	6 000
Абиетат натрия	45 000	0,2	9 000

Следовательно, добавка алюминат натрия является экономически более выгодной, чем добавка ГКЖ на 80%, на 33% выгоднее абиетата натрия и на 97 % выгоднее, чем увеличение расхода цемента.

Пластифицирующие добавки являются разжижителями и высокоэффективными пластификаторами бетонных смесей, они позволяют в несколько раз повысить подвижность смеси, не вызывая при этом снижения прочности бетона при сжатии [4].

К пластифицирующим добавкам относятся добавка С-3, лигнопан Б-2, одолит.

Стоимость пластифицирующих добавок приведена в таблице 4.

Таблица 4

Стоимость пластифицирующих добавок

Добавка	Стоимость, бел. руб. за 1 кг	Средний расход добавки на 1 м^3 бетона, кг	Стоимость на 1 м^3 бетона, бел. руб.
С-3	8 500	3,6	30 600
Лигнопан Б-2	11 500	8	92 000
Одолит	15 000	4	60 000

Следовательно, добавка С-3 является экономически более выгодной, чем добавка лигнопан Б-2 на, 67 %, на 49 % выгоднее добавки одолит и на 83 % выгоднее увеличения расхода цемента.

Сравнение стоимостей экономически выгодных добавок по типам приведено в таблице 5.

Таблица 5

Сравнение стоимостей различных видов добавок

Тип	Добавка	Стоимость, бел. руб./кг	Средний расход добавки на 1 м^3 бетона, кг	Стоимость на 1 м^3 бетона, бел. руб.
Водорастворимые добавки-уплотнители	Нитрат кальция	416	3,75	1 600
Гидрофобные добавки	Битумная эмульсия	25 500	37,5	956 250
Гидрофобизирующие добавки	ГКЖ	60 000	0,5	30 000
Пластифицирующие добавки	С-3	8 500	3,6	30 600

Анализ данных таблицы 5 показывает, что наиболее экономически выгодной является добавка нитрат кальция. Но невозможность её использования для изделий, подвергаемых термовлажностной обработке при твердении, резко снижает её применение. Пластифицирующая добавка С-3 экономически выгоднее увеличения расхода цемента на 83 %.

В Полоцком государственном университете, в связи с высокой востребованностью на рынке, выполняются работы по проектированию составов бетонов с марками по водонепроницаемости W10 – W16, марками по морозостойкости F200 – F400, классами бетона С25/30 – С32/40.

Литература

1. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5-84.– Введ. 01.07.85. – М: НИИЖБ, 1984. – 12 с.
2. Рамачандран, В. Наука о бетоне / В. Рамачандран, Р. Фельдман. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
3. Батяновский, Э.И. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона / Э.И. Батяновский, Е.А. Иванова, Р.Ф. Осос // Строительная наука и техника. – №3. – 2006. – С. 7 – 17.
4. Касторных, Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учеб.-справ. пособие / Л.И. Касторных. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 221 с.

УДК 332.77

Лазовская И.В.
(ПГУ, г. Новополоцк)

АНАЛИЗ ТЕМПОВ РАЗВИТИЯ ПЕРВИЧНОГО РЫНКА НЕДВИЖИМОСТИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД 2006 – 2009 ГОДОВ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ ВИТЕБСКА И ПОЛОЦКА

Первичный рынок недвижимости – объекты недвижимости, которые еще не были оформлены в собственность. Как правило, речь идет о строящихся или только что построенных зданиях и сооружениях. Первичный рынок недвижимости формируется предложением различных застройщиков.

Динамика ввода в эксплуатацию нежилых и жилых объектов [1; 2] в $м^2$ представлена на рисунке 1.

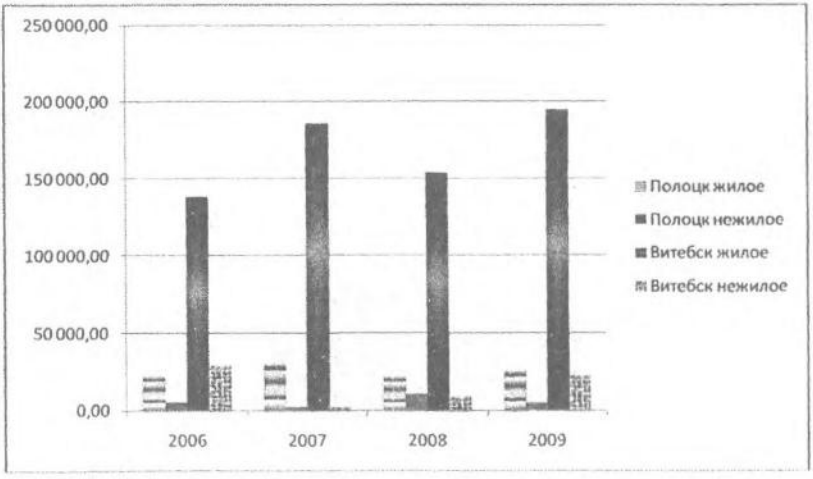


Рис. 1. Общая площадь введенных нежилых и жилых объектов за 2006 – 2009 гг.

В 2007 и 2009 годах наблюдается рост объемов ввода в эксплуатацию жилых площадей, который обуславливается вводом в эксплуатацию значительного числа многоквартирных и индивидуальных жилых домов. В 2008 году наблюдалось замедление темпов ввода жилых объектов недвижимости, несмотря на то, что с 2007 по 2009 год объемы ввода в эксплуатацию индивидуальных жилых домов увеличивались.

Что касается нежилых объектов недвижимости, то темпы осуществления ввода их в эксплуатацию на протяжении всего анализируемого периода являются переменными (рис. 2).

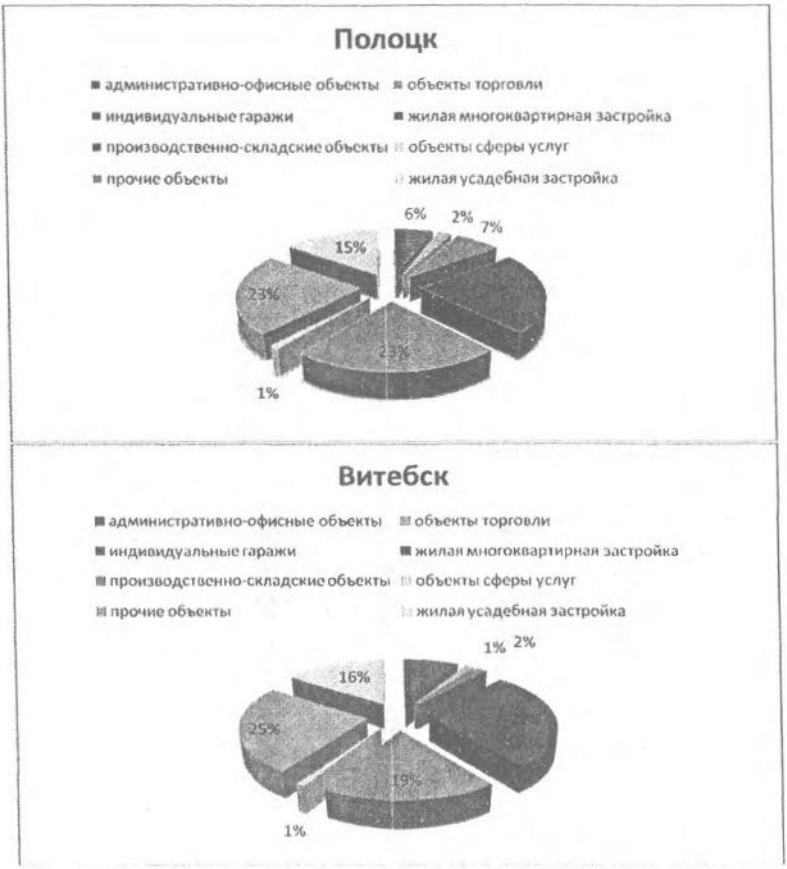


Рис. 2. Сегментация зарегистрированных на 01.01.2010 зданий и сооружений по типам объектов недвижимости для Полоцка и Витебска (к прочим объектам отнесены все объекты, не вошедшие в уже перечисленные пять категорий: объекты специализированного назначения, объекты неустановленного назначения и социально-значимые объекты)

Анализ общей площади зарегистрированных на начало 2010 года зданий и сооружений по назначению объектов недвижимого имущества представлен в виде диаграмм на рисунке 2. Основную долю в общей площади

зарегистрированных зданий и сооружений составляли объекты жилой многоквартирной застройки, прочие объекты, объекты производственно-складского назначения и объекты жилой усадебной застройки.

Сравнивая доли введенных в эксплуатацию зданий и сооружений по назначению, можно сделать вывод об одинаковой степени востребованности зданий одного типа для Полоцка и Витебска.

Анализ данных по общей площади введенных в эксплуатацию объектов недвижимости за период 2006 – 2009 гг. и общей площади зарегистрированных на 01.01.2010 объектов недвижимости показал, что в среднем за анализируемый период в год в эксплуатацию вводилось 0,5% нежилых и 6 % жилых (для Витебска) и 2 % жилых и 0,3 % нежилых (для Полоцка) объектов от общего объема аналогичных зарегистрированных объектов недвижимости. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Доля введенных в эксплуатацию нежилых и жилых объектов

Показатель	Нежилые объекты	Жилые объекты
Полоцк		
Средняя площадь введенных в эксплуатацию объектов недвижимости за период 2006 – 2009, тыс. кв.м	4,80	20,84
Общая площадь зарегистрированных объектов недвижимости на 01.01.2010, тыс. кв. м	1640,0	1025,11
Доля введенных в эксплуатацию объектов	0,003	0,020
Витебск		
Средняя площадь введенных в эксплуатацию объектов недвижимости за период 2006-2009, тыс. кв.м	15,7	165,86
Общая площадь зарегистрированных объектов недвижимости на 01.01.2010, тыс. кв. м	3472,31	2697,02
Доля введенных в эксплуатацию объектов	0,005	0,061

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

– первичный рынок недвижимости Витебской области в анализируемый период развивался переменными темпами, в целом прослеживается рост вводимых в эксплуатацию площадей за год;

– первичный рынок недвижимости г. Витебска развивался значительно эффективнее первичного рынка недвижимости Полоцка за анализируемый период времени (в 3 раза эффективнее для жилых объектов и 1,5 раза для нежилых объектов);

– степень востребованности зданий и сооружений одного назначения для Полоцка и Витебска примерно одинакова, наиболее востребованными являются здания многоквартирной жилой застройки и производственно-складские помещения.

Литература

1. Краткий анализ формального рынка недвижимости за период 2006 – 2010 г. Полоцк / Национальное кадастровое агентство. – Минск: НКА, 2010. – 12 с.
2. Краткий анализ формального рынка недвижимости за период 2006 – 2010 г. Витебск / Нац. кадастровое агентство. – Минск: НКА, 2010. – 12 с.

УДК 666.97:658

Пикула А.И.
(БрГТУ, г. Брест)

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Тепловой и гидравлический (при использовании в качестве теплоносителя жидких или газообразных веществ) баланс предприятия в производстве строительных материалов и изделий является неотъемлемой частью качественного энергетического сопровождения любого производства. Составление таких балансов согласно действующим нормам является частью проектировочных работ при разработке новых или реконструкции и модернизации существующих производств. Для составления указанных балансов необходимо собрать большое количество исходных данных: разработать технологическую часть, назначить режимы ТВО, рассчитать раздел, касающийся отопления и вентиляции предприятия, а также провести большое количество вычислений и свести полученные данные в табличной форме с расчётом суммарной результирующей нагрузки на системы теплоэнергоснабжения в любой из периодов времени. Соответственно, это требует достаточно больших затрат времени и средств, на которые заказчик не всегда согласен, мотивируя это в том числе и тем, что априори назначить требуемые режимы не представляется возможным, они не могут быть постоянными, так как зависят от множества непостоянных факторов. Следовательно, в проектировочных решениях производятся минимальные расчёты по удельным укрупненным показателям аналогичных производств, которые и закладываются в необходимой мощности котельной (или внешнего подключения), пропускной способности тепловых сетей и т.д.

Однако в абсолютном большинстве случаев полученные показатели далеки от реальности данного производства и либо значительно удорожают сметную стоимость, уменьшая рентабельность и не давая ничего для производства, либо делают невозможным качественное проведение тепловых процессов. В любом случае ответственность за функционирование таких производств ложится на плечи главного инженера, технологов, энергетика и, соответственно, директора реконструируемого или проектируемого предприятия, которые и должны заранее позаботиться о качественном составлении теплового и других видов балансов своего предприятия, причём не однократно в процессе проектирования, а постоянно в процессе каждодневного функционирования.

Тепловой баланс даёт возможность отслеживать реальные энергетические затраты, иметь информацию о возможности развития предприятия, предупреждать перегрузки и выход из строя технологического оборудования и, самое главное, качественно планировать условия прохождения ТВО и находить оптимальное время его проведения.

Из 5 предприятий Брестской и Барановичской области, занимающихся производством строительных материалов и конструкций, рабочего, реального теплового баланса нет ни на одном, да и перспектив его качественного составления там не видят. Несмотря на все усилия государства, направленные на повышение эффективности и снижение энергоёмкости производств, и существующий план снижения удельных энергозатрат, повышенная энергоёмкость производств строительной отрасли сохраняется. Существующая система учёта при отсутствии чётких энергетических расходных статей и независимого стороннего энергоаудита, одной из форм которого может быть составление и внедрение в производственную деятельность теплового баланса, не может давать полной картины сложившихся энергозатрат на предприятии. Соответственно, нет основы для того, чтобы показать улучшение энергоэффективности, так как нет сведений о том, что есть или было, а, следовательно, и материально стимулировать тех, кто что-то улучшил, оснований нет. Да и чему тут удивляться, если на некоторых производствах тепловые сети и даже тепловые установки не имеют тепловой изоляции или её свойства уже изменились таким образом, что она не сберегает, а, наоборот, увеличивает расход энергии, и это никоим образом не беспокоит их владельцев, так как эти установки на бумаге и в отчётах демонстрируют чудеса энергоэффективности. Почти любой энергетик предприятия может назвать удельный расход пара на его предприятии. И этот расход будет почти совпадать с максимальными нормами расхода, которые доводятся вышестоящими организациями. То есть получается, что на всех предприятиях с разной протяжённостью сетей, разной конструкцией камер ТВО и их разными режимами почти одинаковый расход теплоносителя, и, мало того, одинаковая его себестоимость, что в принципе нереально.

Но, более того, отсутствие чётких графиков работы тепловых установок, спланированных с учётом нагрузочной способности сетей и энергетических источников, вносит большую случайную составляющую в результат ТВО. То есть одна и та же тепловая установка, за одно и то же время ТВО, при одной и той же загрузке, при одном и том же положении регулятора дает совершенно разные результаты прочности бетона: бетон может набрать прочность гораздо большую, чем требуется, либо конструкции разваливаются при попытке съёма их с формы при распалубке. Причём такие результаты получаются как при наличии систем автоматического регулирования, так и без оных, так как всё, что может автоматика, – это максимально открыть клапан впуска теплоносителя в камеру. Но если нужного давления пара не было, то оно и не появится, так как работа установок не скоординирована тепловым балансом всего предприятия. Не спасают и системы мониторинга температуры в камере, так как они не дают полной картины (1-2 датчика на всю камеру), да и в большинстве случаев их показания далеки от реальности. Вот и стремятся пропарщики провести тепловую обработку подольше, с большим количеством пара, чтобы не допустить брака.

Соответственно, составление реального теплового баланса и его каждодневная сверка и (или) корректировка являются залогом качественного, эффективного функционирования любого предприятия.

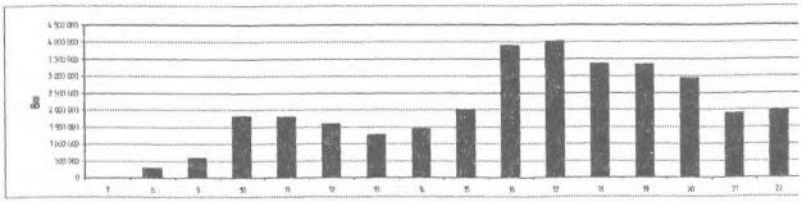
Тепловой баланс может стать основой (энергетическим паспортом) при возможной классификации предприятий согласно энергетических норм и присвоении ему определённого класса по энергоэффективности, практика чего уже существует за рубежом, где предприятия, имеющие более высокий класс по эффективности использования энергоносителей, получают более существенные государственные преференции и, соответственно, стимулируются к развитию.

Методов и форм составления теплового баланса существует достаточно много, но наиболее эффективным является расчётно-теоретический способ с проверкой в типовых точках измерительными методами. Для чего сейчас промышленностью выпускаются портативные ультразвуковые расходомеры-счетчики для воды и пара, а также автономные системы полного мониторинга динамического теплового состояния среды с использованием цифровых датчиков типа DALLAS DS18S20 или DS18b20. Датчики имеют низкую стоимость и точность 0,1 °С, причём каждый датчик имеет свой уникальный номер. По одной двухпроводной цифровой шине протяженностью до 500 м можно мониторить неограниченное количество датчиков, что делает такие системы недорогими и доступными для повседневного использования при создании систем автоматического регулирования и оценки.

Составление и использование теплового баланса является обязанностью инженеров-технологов и энергетиков заводов по производству строи-

тельных материалов. Фрагмент части теплового баланса предприятия с гистограммой нагрузки на источники теплоснабжения приведён на рисунке.

Расположение по плану	Группа установок	1 смена									2 смена						
	Наименование технологических потребителей	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 ПРОЛЕТ	1 линия камера				558 995	558 995	558 995	558 995	558 995	558 995	558 995	29 323	29 323	29 323	29 323	29 323	29 323
	2 линия камера							558 995	558 995	558 995	558 995	558 995	558 995	558 995	29 323	29 323	29 323
	3 линия камера										558 995	558 995	558 995	558 995	558 995	558 995	558 995
	4 линия камера													558 995	558 995	558 995	558 995
	5 линия камера																536 978
	6 линия камера																
	7 линия камера																
	8 линия камера				1 647 705	1 647 705	1 647 705	32 842	32 842	32 842	32 842						
	9 линия камера							1 647 705	1 647 705	1 647 705	32 842	32 842	32 842	32 842			
	10 линия камера										1 647 705	1 647 705	1 647 705	32 842	32 842	32 842	32 842
	11 линия камера													1 750 898	1 720 898	1 720 898	28 258
	12 линия камера																1 750 898
	13 линия камера																
	14 линия камера																
	Суммарный расход Q 1 пролета цеха	0	0	0	2 206 620	2 206 620	2 206 620	2 796 377	2 796 377	2 796 377	3 380 134	2 822 138	2 822 138	3 522 651	2 980 217	2 960 217	3 527 401
2 ПРОЛЕТ	5 линия камера				1 339 225	1 339 225	1 339 225	30 920	30 920	30 920	30 920	30 920					
	2 линия камера								1 339 225	1 339 225	1 339 225	30 920	30 920	30 920	30 920	30 920	
	3 линия камера										1 079 136	1 079 136	1 079 136	30 920	30 920	30 920	30 920
	Суммарный расход Qз 2 пролета цеха	0	0	0	1 339 225	1 339 225	1 339 225	30 920	1 370 145	1 370 145	2 449 281	1 140 976	1 110 056	61 840	61 840	61 840	30 920
3 ПРОЛЕТ	1 КАССЕТА									2 587 632	2 452 693	2 589 092	535 434	586 434	535 434	267 303	
	2 КАССЕТА																
	3 КАССЕТА											2 544 766	2 530 658	2 454 130	566 196	565 196	565 196
	4 КАССЕТА		1 052 580	2 606 044	2 212 723	1 454 806	565 196	565 196	565 196								
	5 КАССЕТА															1 313 530	2 760 086
	6 КАССЕТА				939 922	1 473 912	1 469 858	1 564 254	532 032	532 032	532 032						
	Суммарный расход Q 3 пролета цеха	0	1 052 580	2 606 044	2 764 645	2 927 947	2 196 353	1 569 449	1 097 228	1 097 664	2 984 725	5 133 758	3 065 692	3 284 564	2 454 568	3 532 966	3 324 535
4 ПРОЛЕТ	Тушильная камера №1										5 057 990	5 057 990	5 057 990	5 057 990	5 057 990	268 690	265 690
	Тушильная камера №2																
	Суммарный расход Q 4 пролета цеха	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5 057 990	5 057 990	5 057 990	5 057 990	5 057 990	268 690	265 690
СВОДНЫЙ	Общий расход Iкбк/час	0	1 052 580	2 606 044	6 530 740	6 420 592	5 369 198	4 536 246	5 225 750	7 264 226	16 041 659	14 469 843	12 103 779	12 662 035	10 534 223	6 843 375	7 221 525
	Общий расход Ивт	0	286 822	577 235	1 805 539	1 799 665	1 394 503	1 250 760	1 459 602	2 015 396	3 935 525	4 276 990	3 361 605	3 342 226	2 906 736	1 901 052	2 008 337
	Общий расход пара Iкг/час	0	427	859	2 690	2 679	2 077	1 876	2 159	2 995	5 852	5 935	5 005	4 972	4 353	2 828	2 986



Фрагмент теплового баланса предприятия с гистограммой нагрузки на источники теплоснабжения

УДК 666.97: 658

Пикула А.И.
(БрГТУ, г. Брест)

АДАПТИРУЕМАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКОЙ БЕТОНА С ИЗМЕНЯЕМЫМИ КРИТЕРИЯМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Тепловая обработка бетона может являться одной из самых энергоёмких операций из всего производственного цикла изготовления изделий. Её часть может составлять от 10 до 80 % стоимости произведенных с её участием изделий в зависимости от способа, вида теплоносителя, цели тепловой обработки и другого большого количества факторов, которые составляют её стоимость, но возможности управления которыми в ряде случаев не используются.

Иногда смысл полной тепловой обработки вообще теряется из-за несогласованности производственных возможностей и спроса на выпускаемую продукцию, когда изделия, произведенные с участием полного цикла ТВО (тепловлажностной обработки), затем месяцами хранятся на складах предприятия, где они вполне могли бы нормируемую прочность добрать без дополнительных энергозатрат (при условии защиты от высыхания). Естественно, что минимальную распалубочную и достаточную для транспортирования конструкций прочность бетон набирал бы при помощи ускорителей твердения или (и) низкотемпературного ТВО. Также не является оптимальным проведение тепловой обработки бетона перед выходными днями в таком же режиме, как и в другое время, так как при оставлении изделий в установке на одни или несколько суток становится возможным более полно использовать экзотермию цемента и тепловую инерционность ограждающих конструкций (бетона изделий), за счет чего возможно значительное сокращение времени изотермической выдержки с подачей пара и (или) её температуры.

Основная задача оптимизации любого процесса – обеспечение минимальных затрат (энергетических, капитальных и эксплуатационных) на качественное проведение процесса с получением продукта нужной характеристики и свойств без ущерба для экологии.

Критерием оптимальности установок для тепловой обработки является величина:

$$П_у = \frac{З_к}{T_н} + P_э = \min,$$

где $П_у$ – критерий оптимальности с приведенным индексом затрат; $З_К$ – капитальные затраты; $Т_Н$ – нормативный срок окупаемости оборудования в годах; $Р_Э$ – эксплуатационные расходы.

Критерием оптимальности процесса тепловой обработки является величина:

$$П_{то} = \frac{З_Э + З_т}{V_б + N} = \min,$$

где $П_{то}$ – критерий оптимальности (удельные затраты); $З_э$ – затраты электроэнергии; $З_т$ – затраты тепловой энергии; $V_б$ – объём бетона одновременно обрабатываемых изделий; N – оборот форм в сутки, при данном способе и режиме тепловой обработки.

Если рассматривать нормальный режим работы заводов сборного железобетона (согласованность производственных возможностей и спроса), то хотелось бы обратить внимание на следующие производственные факторы, влияющие на эффективность, оптимальность и, соответственно, себестоимость тепловой обработки строительных материалов. Для наглядности они представлены в виде схемы управляемой системы ТО (тепловой обработки) на рисунке 1.



Рис. 1. Схема управляемой системы ТВО

Для построения адаптируемой модели управления тепловой обработкой бетона с изменяемыми критериями функционирования необходимо применение основного принципа системного анализа, а именно декомпозиции.

При анализе основных производственных факторов, оказывающих влияние на систему ТВО, была выявлена необходимость создания следующих подсистем (блоков), обладающих свойством интерэктности:

1. **Блок задания исходных данных** (параметров изделий, времени получения заданных характеристик, внешних воздействий).

2. **Массив данных по производственным возможностям** (характеристики оборудования с рассчитанными удельными показателями $П_у$, параметры сетей, подключений и их временных функций нагрузочной способности).

3. Динамический **массив данных по завершенным процессам** тепловой обработки, полученным характеристикам изделий, затратам Пто.

4. **Блок моделирования завершения технологических операций перед ТВО**.

5. **Блок моделирования склада готовой продукции.**

6. **Блок моделирования склада сырьевых материалов**.

7. **Календарный график работы цеха**.

8. **Блок моделирования времени технического обслуживания**, плановых остановок и вероятности возникновения аварийных ситуаций.

9. **Блок моделирования стратегий управления**, который на основании получаемых сведений о производственном процессе, о состоянии склада выпускаемой продукции и спросе на неё, формировал бы последовательность стратегий управления.

По получаемым результатам моделирования и заложенным критериям эффективности стратегий управления этот блок должен выдавать оптимизированные варианты управления системой тепловой обработки.

10. **Блок внедрения изменений в начавшиеся процессы** для адаптации к изменившимся условиям производства.

11. **Блок обработки информации, получаемой о ТВО, для возможного использования или хранения в системе.**

12. **Блок моделирования функциональных связей.**

Общая структура адаптируемой модели управления тепловой обработкой бетона с изменяемыми критериями функционирования приведена на рисунке 2.



Рис. 2. Структура адаптируемой модели управления тепловой обработкой бетона с изменяемыми критериями функционирования

УДК 693.54

Васильев А.А., канд. техн. наук; Адарченко Е.О.
(БелГУТ, г. Гомель)

МОДЕЛЬ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ АТМОСФЕРЫ

Карбонизация бетона – основной фактор, определяющий состояние бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре железобетонных элементов (ЖБЭ). Создание модели карбонизации позволит прогнозировать ее развитие и, как следствие, долговечность ЖБЭ, как на стадии проектирования, так и во время эксплуатации в течение длительных сроков в условиях открытой атмосферы.

Для построения модели карбонизации бетона исследовали ЖБЭ, эксплуатировавшихся длительные сроки (не менее 10 лет), а также лабораторные образцы бетона. Исследования проводились в лабораторных условиях, как на свежеизготовленных образцах, так и на образцах, отобранных из эксплуатируемых конструкций. Образцы бетона для исследований отбирались в зоне расположения арматуры, в лабораторных образцах отбирались пробы бетона выбуриванием до глубины 50 мм. Показатель КС определялся объемно-газовым методом [1]. Статистическую обработку экспериментальных данных производили при помощи табличного процессора «Excel».

Для определения начальных параметров карбонизации исследовали кубики сечением 100×100×100 мм, выполненные в заводских условиях из бетонов основных классов по прочности $C^{16}/_{20}$, $C^{18}/_{22,5}$, $C^{20}/_{25}$, $C^{25}/_{30}$ различных составов, применяемых при изготовлении колонн. После изготовления кубики подвергали тепловлажностной обработке (ТВО) по стандартному режиму.

Полученные зависимости l–$КС_0$ для усредненных значений $КС_0$ представлены на рисунке 1.

При подборе уравнения зависимости $KC(l)$ наилучшие результаты (хорошее сглаживание точек, большой R^2) дали пятипараметрические уравнения вида:

$$CK(l) = \alpha_0 + (\alpha_1 + \alpha_2 \cdot l)/(\alpha_3 + \alpha_4 \cdot l^3); \quad (1)$$

$$CK(l) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \exp(-((l - \beta_2)/\beta_3)\beta_4), \quad (2)$$

где параметры α_i и β_i (i = 0, 1,…, 4) определяются методом наименьших квадратов, известным в математической статистике и реализованным, например, в пакетах Statgraphics или MathCAD.

Достоинством уравнения (1) является возможность аналитического определения параметров β_i ($i = 0, 1, \ldots, 4$) методом наименьших квадратов, а достоинствами уравнения (2):

– большее, как правило, по сравнению с уравнением (1), значение R^2;

– функция удовлетворяет предъявляемым требованиям на всем множестве значений параметров;

– наличие конкретного физического смысла ее параметров β_i ($i = 0, \ldots, 4$); β_0 определяет наименьшее значение $KC(l)$ (обычно, $\beta_0 = KC(0{,}1$ м)), β_1 – разность минимального и максимального значения $KC(l)$, β_2 – минимальное значение l (обычно, $\beta_2 = 0$), $\beta_3 > 0$ и $\beta_4 > 0$ определяют форму кривой и координаты точек перегиба.

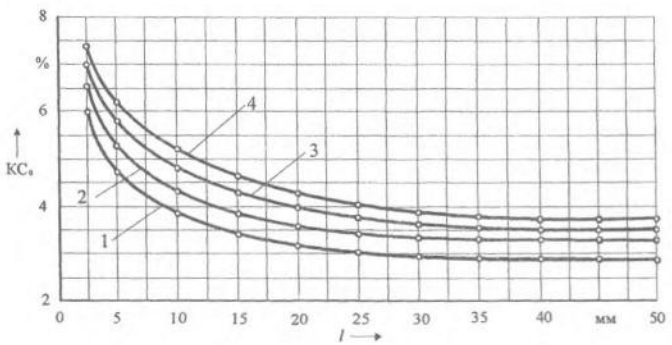


Рис. 1. Распределение показателя КС по сечению образцов бетона сразу после ТВО для классов бетона по прочности:
$1 - C^{16}/_{20}$, $2 - C^{18}/_{22,5}$, $3 - C^{20}/_{25}$, $4 - C^{25}/_{30}$

При разработке модели карбонизации принимали, что после глубины 50 мм скорость развития карбонизации постоянна для любого класса бетона по прочности. За граничное значение $l_{(\infty)}$ принимали l=100 мм.

Модель изменения показателя KC_0 по сечению для свежеизготовленных бетонов (после ТВО):

$$KC_0(l/t=0) = \beta_0 + \beta_1 e^{\left(-\left(\frac{l-\beta_2}{\beta_3}\right)^{\beta_4}\right)}, \qquad (3)$$

где β_0 – коэффициент, определяющий наименьшее значение $KC(l)$ [обычно, $\beta_0 = KC\ (l > 100$ мм)];

β_1 – коэффициент, определяющий разность минимального и максимального значений $KC(l)$,

β_2 – коэффициент, определяющий минимальное значение глубины l (обычно, $\beta_2 = 0$),

β_3 – коэффициент, определяющий форму кривой и координаты точек перегиба, $\beta_3 > 0$;

β_4 – коэффициент, определяющий форму кривой и координаты точек перегиба, $\beta_4 > 0$.

Параметры β_i (i = 0, 1,…, 4) нелинейной функции (3) определялись численно на ЭВМ методом наименьших квадратов [2].

Полученные модели изменения показателя $КС_0$ по сечению для свежеизготовленных бетонов (после ТВО) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Модели карбонизации различных классов бетона по прочности

Класс бетона по прочности на сжатие	Модель карбонизации
$C^{16}/_{20}$	$KC_0(l/t=0) = 2,86 + 10,0e^{\left(-\left(\frac{l+2,0}{3,0}\right)^{0,60}\right)}$
$C^{18}/_{22,5}$	$KC_0(l/t=0) = 3,31 + 13,5e^{\left(-\left(\frac{l+3,0}{2,75}\right)^{0,60}\right)}$
$C^{20}/_{25}$	$KC_0(l/t=0) = 3,47 + 16,5e^{\left(-\left(\frac{l+4,0}{2,6}\right)^{0,55}\right)}$
$C^{25}/_{30}$	$KC_0(l/t=0) = 3,60 + 20,1e^{\left(-\left(\frac{l+4,1}{2,3}\right)^{0,51}\right)}$

В результате многолетних исследований бетона защитного слоя различных типов ЖБЭ, эксплуатировавшихся длительные сроки, была получена обширная область изменения во времени значений КС в зоне расположения арматуры. Для уточнения скорости карбонизации исследовали зоны с обычной и ускоренной карбонизацией [1]. Для каждой зоны исследовалась конечная выборка значений КС из 120 точек для различных классов бетона по прочности ($C^{16}/_{20} - C^{25}/_{30}$).

При этом:

– начальную карбонизацию определяли для усредненной толщины защитного слоя l = 15 мм, поскольку в исследуемых областях значения КС определяли для толщин защитного слоя 5–25 мм;

– исследовали всю область значений КС в каждой отдельной зоне для усредненных значений КС.

Суммарная регрессионная зависимость $\sqrt{t}$ – КС для области ускоренной карбонизации приведена на рисунке 2.

Модель изменения показателя КС в зоне расположения арматуры во времени для постоянного значения толщины защитного слоя:

$$KC(t/l = const) = \alpha_0 + \alpha_1\sqrt{t}, \qquad (4)$$

где α_0 – показатель начальной карбонизации, %;

α_1 – показатель скорости карбонизации;

t – величина прогнозного периода, лет;

Параметры α_i (i = 0, 1) линейной функции регрессии (4) определяли по экспериментальным данным методом наименьших квадратов.

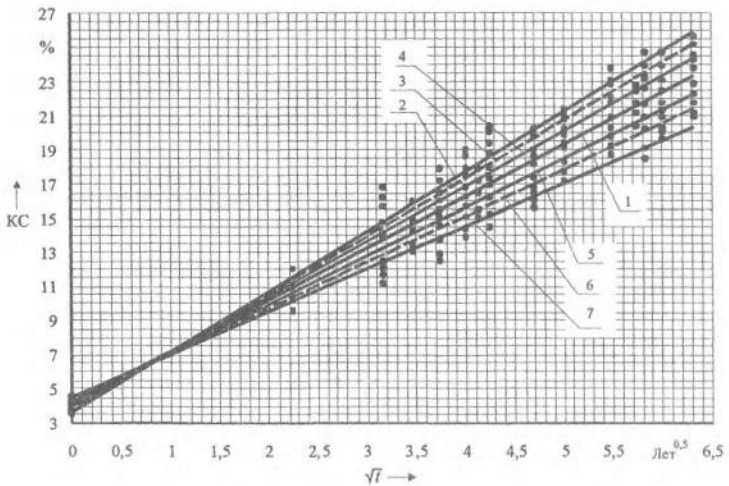


Рис. 2. Регрессионная зависимость $\sqrt{t}$ – КС
для условий открытой атмосферы и облати ускоренной карбонизации:
1 – общая для области ускоренной карбонизации; 2 – бетон класса $C^{16}/_{20}$;
3 – усредненная для бетонов классов по прочности $C^{16}/_{20}$ и $C^{18}/_{22,5}$;
4 – бетон класса $C^{18}/_{22,5}$; 5– бетон класса $C^{20}/_{25}$;
6 – средняя для бетонов классов по прочности $C^{20}/_{25}$ и $C^{25}/_{30}$; 7 – бетон класса $C^{25}/_{30}$

Полученные, по результатам исследования регрессионные зависимости развития карбонизации во времени в защитном слое бетона приведены в таблице 2.

Таблица 2

Регрессионные зависимости изменения показателя КС

Класс бетона по прочности на сжатие	Область ускоренной карбонизации
$C^{16}/_{20}$	$KC_{прог} = 3,55 + 3,54\sqrt{t}$
$C^{18}/_{22,5}$	$KC_{прог} = 3,80 + 3,26\sqrt{t}$
$C^{20}/_{25}$	$KC_{прог} = 4,25 + 2,85\sqrt{t}$
$C^{25}/_{30}$	$KC_{прог} = 4,56 + 2,51\sqrt{t}$

Для объединения двух предложенных моделей необходимо получить значительное количество однотипных экспериментальных данных по карбонизации бетонов различных возрастов на разных глубинах для одинаковых классов по прочности. В связи со сложностью их получения предложена эвристическая модель КС (t, l), базирующаяся на следующих допущениях:

– для каждого возраста бетона справедлива модель карбонизации по сечению бетона, за исключением, что различные значения (для разных возрастов бетона) может принимать параметр β_1:

(5)

Для только что изготовленного бетона $\beta(t = 0) = \beta_1$, а для иных моментов времени $\beta(t)$ определяется решением уравнения:

$$KC(l/t=15) = \alpha_0 + \alpha_1\sqrt{t} = \beta_0 + \beta_1(t)\,e^{\left(-\left(\frac{15-\beta_2}{\beta_3}\right)^{\beta_4}\right)}. \qquad (6)$$

В итоге общая эвристическая модель карбонизации во времени по сечению бетона КС(t, l):

$$KC\,(t,l) = \beta_0 + \left(\alpha_0 + \alpha_1\sqrt{t} - \beta_0\right)e^{\left(\left(\frac{15-\beta_2}{\beta_3}\right)^{\beta_4} - \left(\frac{l-\beta_2}{\beta_3}\right)^{\beta_4}\right)}, \qquad (7)$$

где x – исследуемая толщина защитного слоя бетона, мм.

Полученные модели карбонизации для условий открытой атмосферы представлены в таблице 3.

Таблица 3

Модели карбонизации различных классов бетона по прочности для условий повышенной агрессивности среды

Класс бетона по прочности на сжатие	Область ускоренной карбонизации
$C^{16}/_{20}$	$KC(l,t) = 2{,}86 + \left(0{,}69 + 3{,}54\sqrt{t}\right)e^{\left(2{,}83-\left(\frac{l+2{,}0}{3{,}0}\right)^{0{,}6}\right)}$
$C^{18}/_{22{,}5}$	$KC(l,t) = 3{,}31 + \left(0{,}49 + 3{,}25\sqrt{t}\right)e^{\left(3{,}09-\left(\frac{l+3{,}0}{2{,}75}\right)^{0{,}6}\right)}$
$C^{20}/_{25}$	$KC(l,t) = 3{,}47 + \left(0{,}77 + 2{,}85\sqrt{t}\right)e^{\left(2{,}99-\left(\frac{l+4{,}0}{2{,}60}\right)^{0{,}55}\right)}$
$C^{25}/_{30}$	$KC(l,t) = 3{,}60 + \left(0{,}96 + 2{,}51\sqrt{t}\right)e^{\left(2{,}88-\left(\frac{l+4{,}1}{2{,}3}\right)^{0{,}51}\right)}$

Выводы

Полученные модели достаточно хорошо коррелируют с результатами исследования карбонизации по сечению ЖБЭ, эксплуатируемых длительные сроки в условиях открытой атмосферы.

Литература

1. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций: монография / А.А. Васильев; М-во образования Респ. Беларусь, Бел. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 263 с.
2. Герасимович, А.И. Математическая статистика / А.И. Герасимович. – Минск: Выш. шк., 1983. – 275 с.

УДК 691.32

Бондарович А.И.; Ковшар С.Н., канд. техн. наук
(БНТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КИНЕТИКУ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТНО-МЕХАНИЧЕСКИХ И УПРУГО-ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА

Материал данной статьи отражает результаты экспериментов по установлению зависимости прочности на сжатие и упруго-деформационных характеристик бетона (используемого при производстве вибропрессованных элементов благоустройства) от многократно повторяющихся механических нагрузок различного уровня (до 70 % проектной прочности), имитирующих таковые при эксплуатации соответствующих покрытий улиц, дорог, тротуаров и пр.

Материалы для бетона

Вяжущее – портландцемент марки ПЦ 500-Д0 ПО «Кричевцементошифер» ((фактическая активность: $R_ц$ = 44 МПа (прочность на растяжение при изгибе – 6,2 МПа); коэффициент нормальной густоты: $K_{нг}$ = 0,26; плотность: $\rho_ц$ ~ 3100 кг/м^3; удельная поверхность: $S_{уд.ц}$ ~ 2980 см^2/г)). Мелкий заполнитель – природный песок крапужинского месторождения, средняя плотность в рыхло-насыпном состоянии: $\rho_п^0$ ~ 1580 кг/м^3; в виброуплотненном: ρ_z^* ~ 1800 кг/м^3; плотность зерен: 2650 кг/м^3; крупнозернистый: $М_к$ = 2,7; удельная поверхность: $S_{уд.п}$ = 6410 м^2/т; удельное водопоглощение поверхности: $B_{уд}^{\infty}$ = 25,8 л/кг; пустотность в виброуплотненном состоянии: $П_п^*$ = 32 %). Для затворения бетона использовали воду водопроводную, удовлетворяющую требованиям СТБ 1114-98.

Общая методика исследований

Цель настоящих исследований заключалась в выявлении закономерностей изменения прочности на сжатие и динамического модуля упругости под воздействием многократно повторяющейся механической нагрузки, а также упруго-деформативных свойств вибропрессованного бетона (мелкозернистого): модуля упругости, коэффициента Пуассона, предельной сжимаемости) и параметров, характеризующих границы области микроразрушений структуры бетона при сжатии. При этом статическую механическую нагрузку на образцы бетона имитировали многократным загружением их под прессом с усилием, соответствующим 30; 50, 70 и 90 % прочности бетона от ее значения в проектном возрасте (28 сут.).

Для исследований использовали составы бетона основного диапазона консистенций, практикуемых при производстве мелкоштучных изделий: марок Ж2; Ж1 и П1-П2.

В первом случае состав мелкозернистого (цементно-песчаного) бетона характеризовался расходом цемента: Ц = 500 кг; сухого песка: П = 1600 кг; воды: В ≈ 160 – 170 л (В/Ц ~ 0,32 – 0,33) принятый как оптимальный [1], при показателе жесткости *Ж* ~ 15 – 25 с. Во втором составе расход цемента и песка не изменились, а увеличился лишь расход воды: В-200 л (В/Ц ~ 0,4) *Ж* ~ 0 – 5 с. Третий состав дублировал первый, но с применением добавки суперпластификатора С-3 (0,6 % от массы цемента) ОК ~ 4 – 6 см, Образцы бетона уплотняли на виброплощадке со стандартными параметрами (А = 0,5 мм; $f \approx 50$ Гц) в течение времени и под пригрузом, обеспечивающим получение расчетного качества (степени) его уплотнения, соответствовавшего средней плотности не ниже для свежеотформованного мелкозернистого бетона – 2250 кг/м^3.

Влияние статической нагрузки на прочность
и упруго-деформативные характеристики бетона

Изменение прочности на сжатие. При оценке изменений прочности бетона (здесь и далее – прочность на сжатие) образцы вначале многократно «сжимали и отпускали» на прессе с заданной нагрузкой установленное для данного опыта количество раз, а затем нагрузку доводили до разрушающей. Эксперимент прекращали после снижения прочности бетона на 20 % и более от уровня начальной.

Из полученных данных следует, что со временем циклически или многократно повторяющаяся статическая механическая нагрузка приводит к снижению прочности бетона. Этот отрицательный эффект прямо зависит от уровня нагрузки и числа циклов ее воздействия. При этом очевидно «лавинообразное» нарастание деструкции бетона при переходе нагрузки за предел в 70 % от проектной прочности бетона.

Полученные экспериментальные данные согласуются с теоретическими представлениями о трещинообразовании тяжелого бетона под механической нагрузкой, сформулированными в теории Гриффитса в середине 20-х годов, окончательно сформировавшимися в 60 – 70-х годах прошлого века и наиболее детально рассмотренными в исследованиях научной школы О.Я. Берга [2 – 4] и других авторов [5].

Изменение динамического модуля упругости бетона. Методика испытаний (загрузки образцов призм) соответствовала ранее изложенной. Оценку динамического модуля упругости бетона осуществляли по обще-

признанной методике [16] на основании изменения скорости прохождения ультразвукового импульса при «сквозном прозвучивании» и «с поверхности» (рис. 1).

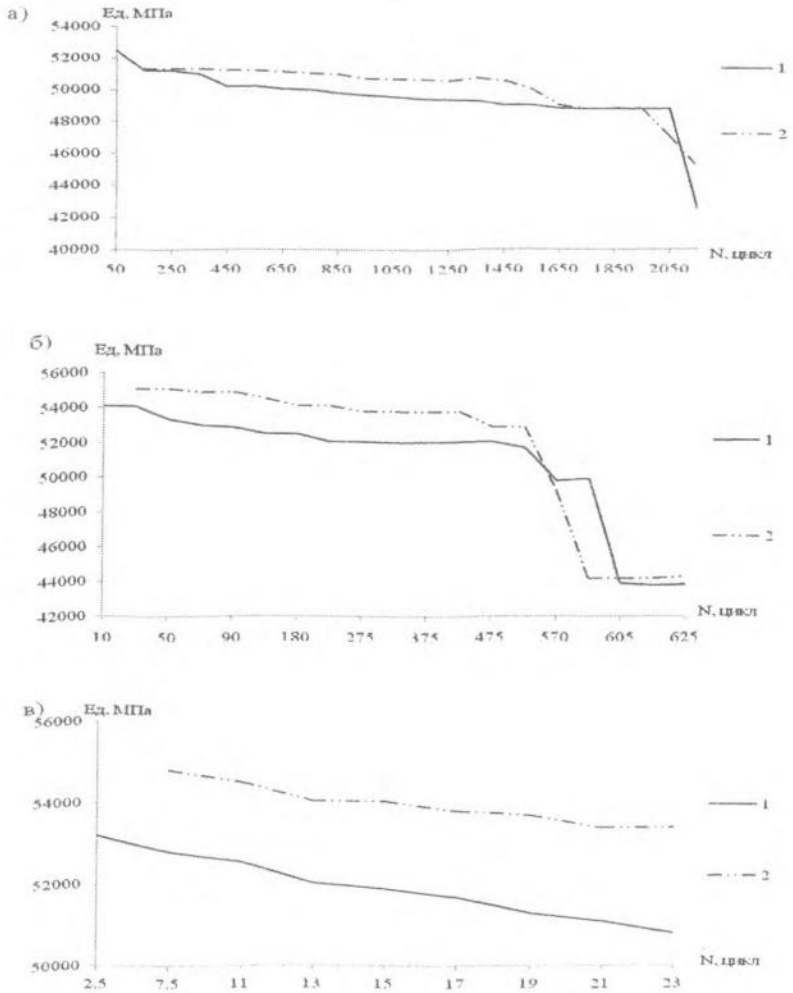


Рис. 1. Тенденция изменения динамического модуля упругости бетона:
а – 30 %-ый уровень нагрузки; *б* – 50%-ный; *в* – 70 % от проектной прочности;
1 – «поверхностная» скорость ультразвука, под нагрузкой;
2 – скорость ультразвука при сквозном прозвучивании, под нагрузкой

Результаты испытаний подтверждают тенденцию изменения механических характеристик бетона в зависимости от уровня приложенной к образцам нагрузки, установленную и отраженную в предыдущем разделе:

– до уровня в 30 % призменной прочности бетона (или до 40 % кубиковой) состояние структуры стабильно;

– с повышением до 50 % начинают провоцироваться изменения, проявляющиеся в снижении динамического модуля упругости, и с увеличением нагрузки до уровня 70 %, т.е. до верхней границы трещинообразования, значение динамического модуля упругости бетона закономерно снижается.

Упруго-деформативные характеристики бетона. Для оценки результатов исследований (изложенных в предыдущих разделах статьи) с позиции «привязки » их к классическим представлениям о нижней и верхней границах трещинообразования «по Бергу» были определены основные упруго-деформативные характеристики бетона составов, на основе которых были установлены закономерности влияния многократно приложенных механических нагрузок на свойства и долговечность бетона [1 – 3].

На рисунке 2 приведены данные, полученные для бетона с показателем жесткости марки Ж1.

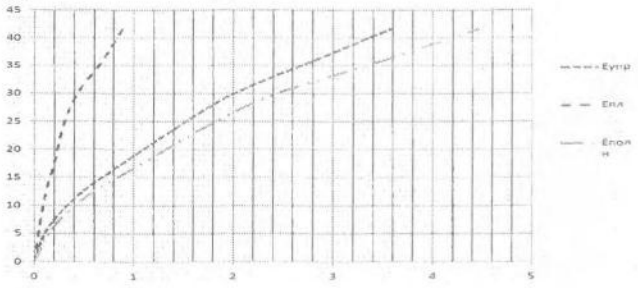
На рисунках 2, *б*, *в* выделены области вероятных значений нижней ($f_{в1}$) и верхней ($f_{в2}$) границ трещинообразования «по Бергу».

Полученные экспериментальные данные соответствуют важнейшим теоретическим представлениям, взаимоувязывающим процессы трещинообразования в бетоне под действием статической механической нагрузки с изменением его прочности. То есть они с полным основанием могут служить базой и для оценки соответствующих изменений эксплуатационных свойств бетона.

Следует отметить ускорение процесса деструкции бетона при циклическом воздействии механической нагрузки в случае испытаний водонасыщенных образцов.

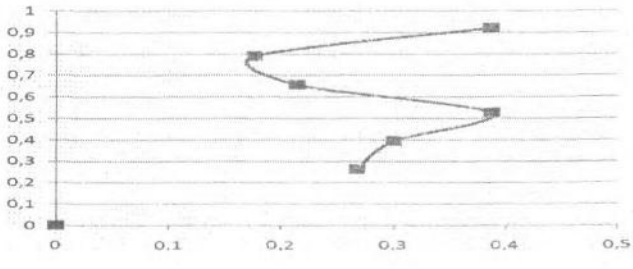
Наличие свободной жидкости в бетоне проявляется как в виде расклинивающего эффекта при сжатии образцов бетона, так и в том, что вода способна проникать в образующиеся в бетоне трещины, которые в ее присутствии не самоликвидируются (закрываются) при снятии нагрузки. В результате процесс развития и раскрытия трещин при каждом повторном загружении идет интенсивнее и логично завершается ускоренным снижением прочности бетона.

а) σ, МПа



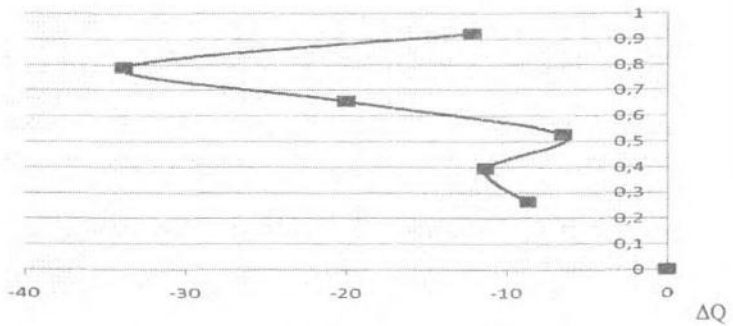
ε, д.ед.

б) σ/R



ΔV

в) σ/R



ΔQ

Рис. 2. Данные к составу бетона с В/Ц = 0,4

Обобщение результатов экспериментов

1. Установлено, что циклически действующая статическая нагрузка на уровне 30 – 40 % от прочности бетона (что соответствует параметрической точке – нижней границе трещинообразования в бетоне) практически не вызывает ухудшения качества бетона длительный период.

С ростом циклически действующей статической нагрузки сверх 50 %-ного уровня вызываемые ей деформации бетона проявляются в активном развитии процесса трещинообразования, а превышение 70 %-ного уровня прочности бетона сопровождается образованием в его объеме макрокапиллярных пор и приводит к резкому росту водопоглощения и снижению прочности бетона.

2. Динамическая сосредоточенная ударная нагрузка вызывает образование в бетоне микротрещин, которые существенно снижают прочность бетона на сжатие. При этом наибольший отрицательный эффект наблюдается тогда, когда направление действия импульса от ударной нагрузки на бетон совпадает с направлением действия нагрузки при сжатии. В этом случае образующиеся в бетоне под ударной нагрузкой микротрещины инициируют образование и развитие таковых при последующем сжатии образцов, что приводит к снижению его прочности.

3. Износоустойчивость бетона резко снижается под воздействием динамической сосредоточенной ударной нагрузки на поверхность истирания, а также (но в меньшей мере) под воздействием статической нагрузки, превышающей 70 %-ый уровень прочности бетона, т.е. верхнюю границу трещинообразования.

Литература

1. Батяновский, Э.И. Влияние многократных механических нагрузок на свойства тяжелого бетона / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович, П.В. Рябчиков // Строительная наука и техника. – 2007. – № 1(10). – С. 12 – 22.
2. Берг, О.Я. О предельном состоянии железобетонных конструкций по долговечности / О.Я. Берг // Бетон и железобетон. – 1964. – № 11. – С. 486 – 488.
3. Берг, О.Я. Усталостная прочность аглопоритобетона / О.Я. Берг, Г.С. Галузо // Бетон и железобетон. – 1969. – № 10. – С. 21 – 23.
4. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.
5. Сытник, В.И. Исследование микротрещинообразования в высокопрочных бетонах / В.И. Сытник, Ю.А. Иванов. – В сб.: Строительные конструкции. – Киев, 1969.

УДК 69.05(1-22)

Клюшина Л.М.;
(ПГУ, г. Новополоцк)
Пылинский Н.И., зам. генерального директора
(КУППСП «Полоцксельстрой»)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

В последние годы (2010 – 2012 гг.) сельские строители КУППСП «Полоцксельстрой» внесли значительный вклад в развитие села – ежегодно в сельской местности возводилось 150 – 200 индивидуальных жилых домов (как в агрогородках, так и мелких населенных пунктах). При этом дома возводились с различными конструктивными решениями – со стенами из ячеистых блоков, из кирпича, из деревянных утепленных щитов, а в д. Прозороки Глубокского района стены выполнены из бетона в теплой несъемной опалубке (исполнитель – «Глубокская ПМК-48). В Докшицком районе в д. Парафьянова построены 2 дома со стенами из легких термопанелей «САРМАЛИТ» (исполнитель – «Докшицкая ПМК-52»).

Выполняя Государственную программу по возрождению и развитию села, дочерние организации КУПСП «Полоцксельстрой» активно включились в строительство производственных помещений – ежегодно в селах сельские строители работают на возведении новых молочно-товарных ферм с современным оборудованием, включая работы по монтажу доильного оборудования (в Полоцком и Поставском районах).

Следует отметить, что сегодня фермы строятся с применением современной техники, которую строители приобрели в последние годы – это компьютеризированные РБУ итальянского производства «ФИОРИ» и «КАРМИКС» (такие узлы имеют все генподрядные организации КУПСП «Полоцксельстрой»), автобетоносмесители российского производства. Это дало возможность исключить доставку бетонных смесей с применением самосвалов со стационарных РБУ (как это было раньше), а готовить качественный бетон непосредственно на стройплощадке и подавать его с помощью бетононасосов непосредственно к месту укладки.

В 2012 году дочерним организациям КУПСП «Полоцксельстрой» (а это 11 западных районов, начиная от г. Полоцка и заканчивая г. Поставы и г. Браслав) решениями Витебского облисполкома № 503, 535 поручено произвести монтаж конструкций на реконструируемых молочно-товарных

фермах (доильно-молочные залы, здания коровников). Для этих целей имеющему в составе КУПСП «Полоцксельстрой» Воропаевскому заводу ЖБИ пришлось изменить номенклатуру выпускаемых изделий – организовать выпуск полурам для пролетов 18 и 21 м, фундаментных башмаков под них, увеличив в 2 раза выпуск плит покрытия.

Для этих целей приобретено необходимое в настоящее время оборудование на 1,2 млрд. руб. (металлическая оснастка), выпуск новых изделий осуществляется в возрастающих объёмах. Наряду с рамными конструкциями заводом освоен выпуск железобетонных конструкций для монтажа зданий коровников в стоечно-балочном исполнении, что позволяет значительно увеличить объём здания.

В этом году 7 ноября состоялось знаменательное событие – торжественное открытие новой районной больницы в г.п. Шарковщина, построенной КУППСП «Полоцксельстрой» на условиях генподряда. Проводивший открытие председатель Витебского облисполкома Косинец А.Н. дал высокую оценку качеству выполненных работ, а также примененным технологиям при производстве работ.

Так, при устройстве теплых полов (утеплитель – мелкий керамзитовый гравий) применены пневмоустановки немецкого производства типа «Путц-Мастер», осуществившие приготовление и подачу на этажи как полусухих смесей для стяжек, так и утеплителя, чем исключена очень трудоемкая и грязная работа по подаче указанных материалов традиционными методами (с помощью крана или вручную). Производительность звена из 2-х человек составила при этом 150м^2 в смену.

Такая технология освоена ДКУСП «Глубокская ПМК-48» и ДКУСП «Лепельская ПМК-75», которые на условиях субподряда производят работы и в других генподрядных организациях. Массово на этом объекте в местах интенсивного движения людей (коридоры, подвалы, лестничные площадки) применено современное покрытие полов «Полибетонокс» (наливные полы).

В каждом райцентре сельские строители строят многоквартирные жилые дома, ФОКИ. Следует отметить сданные в эксплуатацию цеха по производству твердых сыров на Поставском, Браславском молочных заводах, дом-интернат для престарелых в г.п. Дуниловичи Поставского района.

Это значит, что если возводятся дома, больницы, промышленные и строительные сооружения, то жизнь идет своим чередом, люди трудятся, создаются семьи, в которых растут дети. В самом процессе строительства заложен пульс движения, надежда на лучшее будущее. И с этой надеждой живут и трудятся 17 дочерних предприятий «Полоцксельстрой», а это более 2,5 тыс. человек и среди них – в разные годы выпускники Полоцко-

го университета. Двери организаций КУППСП «Полоцксельстрой» для выпускников университета всегда открыты, т.к. это будущее строительной отрасли.

Перед коллективом «Полоцксельстрой» стоят напряженные планы по реализации задач, которые ставятся Правительством Республики Беларусь в области развития сельскохозяйственного производства. Предстоит осуществить перевод молочно-товарных на современный уровень с внедрением роботизации. Ставится задача дальнейшего наращивания объектов жилищного строительства, экспорта строительных услуг и продукции собственного производства.

УДК 621.762; 691.002(032)

Рябчиков П.В.; Якимович В.Д., канд. техн. наук;
Ковшар С.Н., канд. техн. наук
(БНТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОУГЛЕРОДНЫХ ДОБАВОК

Технология высокопрочных бетонов характеризуется рядом отличий от «рядовых» бетонов, которые связаны со спецификой составов высокопрочных бетонов, повышенными требованиями к качеству вяжущего, мелкого и крупного заполнителей, а также высококачественных пластифицирующих добавок, активных (микрокремнезем) и «неактивных» (каменная мука) минеральных добавок. У каждого из дополнительных ингредиентов собственная «роль» в становлении и формировании структуры цементного камня и бетона в целом. В совокупности это обеспечивает повышенную плотность и прочность затвердевшего цементного камня, высокое качество сцепления его с поверхностью зерен заполнителей, а в результате – формирование микро- и макроструктуры бетона с минимальным количеством дефектов. Именно дефекты структуры цементного камня и бетона в целом, являющиеся концентраторами напряжений, возникающих в бетоне под нагрузкой, способствуют появлению и развитию в нем трещин, приводящих к разрушению материала от механических нагрузок.

Повышение прочности бетона в мировой практике строительства до 120 – 150 МПа выявило противоречие, заключающееся в отставании «прироста» прочности на растяжение таких бетонов. Сущность проблемы заключается в том, что не только «работающие» на растяжение строитель-

ные конструкции, но и сжатые бетонные (железобетонные) элементы зданий и сооружений «исчерпывают» несущую способность и разрушаются при предельных нагрузках из-за недостаточной прочности бетона на растяжение. Особенностью высокопрочных бетонов (фактически уже при 70 – 80 МПа) является их возрастающая хрупкость. Она проявляется в снижении пластических деформаций в бетоне под нагрузкой. В результате высокопрочный бетон при предельных нагрузках разрушается практически мгновенно, что представляет серьезную угрозу безопасной эксплуатации зданий (сооружений) в чрезвычайных ситуациях.

Поэтому одной их важнейших задач развития и совершенствования технологии высокопрочного бетона, наряду с обеспечением прочности на сжатие, является повышение его «деформативности» и прочности на растяжение. В этой связи введение в высокопрочный бетон (точнее, в цементный камень, как составляющей бетона) волокнообразных углеродных наноматериалов (УНМ) может способствовать росту его прочности на растяжение за счет эффекта «наноармирования» и, тем самым, в какой-то мере позволит решить проблему повышения его деформативности.

Особенность составов высокопрочных бетонов с показателем прочности в 100 МПа и более заключается в необходимости дополнительных мер по структурированию твердеющего цементного камня для обеспечения повышенной плотности цементного камня за счет применения качественных пластифицирующих химических добавок и соответствующего снижения начального водосодержания бетона. Кроме этого необходимо введение в реагирующую систему «цемент – вода» активного (аморфного) микрокремнезема. С одной стороны, зерна микрокремнезема небольшого размера (менее $0{,}5 \cdot 10^{-6}$м) и обладают «химическим родством» с формирующимся гидросиликатам кальция в реагирующем цементном тесте и выполняют роль центров кристаллизации. С другой стороны, аморфный кремнезем способен реагировать с $Ca(OH)_2$, образующейся от реакций гидратации силикатных клинкерных минералов: алита и белита. Результатом этой реакции является образование более прочных (чем $Ca(OH_2)$) соединений – гидросиликатов кальция, что в целом приводит к росту плотности и прочности цементного камня и бетона. Однако и введения только микрокремнезема недостаточно для бетонов прочностью в 120 – 150 МПа. В такие составы требуется введение тонкомолотого твердофазного компонента в виде каменной (преимущественно – базальтовой) муки. С одной стороны, этот компонент выполняет роль стабилизирующей подвижные и литые бетонные смеси добавки, предотвращающей их расслоение. А с другой, обеспечивает на некоторый период запас воды (адсорбированной на его зернах), которая затем «уходит» на продолжение реакций гидратации це-

мента. Кроме этого, мельчайшие частицы высокопрочного базальта дополняют микроструктуру цементного камня, уплотняя и упрочняя ее. Следует отметить, что в мировой практике исследований и практического применения высокопрочных бетонов дозировка «МК» и каменной муки достигает 30 % от массы цемента при обеспечении прочности бетона примерно равной 150 – 160 МПа [1].

Влияние различных факторов на прочность бетона

Режим и время твердения. Эксперименты выполнены здесь и далее, на бетоне состава, характеризующемся номинальной проектной прочностью $f_{c28} \geq 100$ МПа, при расходе цемента марки ПЦ500, равном 500 кг на 1 м^3 бетона. Твердение образцов бетона осуществлялось по четырем режимам: Естественное твердение образцов в стандартизированных условиях в камере НВТ (Режим 1); с кратковременным нагревом при температуре (40 – 50) °С в течение 2,5 – 3,0 ч с дальнейшим хранением в камере НВТ (Режим 2); с высокотемпературным нагревом при температуре (80 – 85) °С в течение 4,0 ч с дальнейшим хранением в камере НВТ (Режим 3); Твердение образцов в условиях гидроизоляции (под пленкой) в сушильном шкафу при температуре 40 °С и относительной влажности ~ 60 % до испытаний (Режим 4).

Результаы экспериментов приведены на рисунке 1.

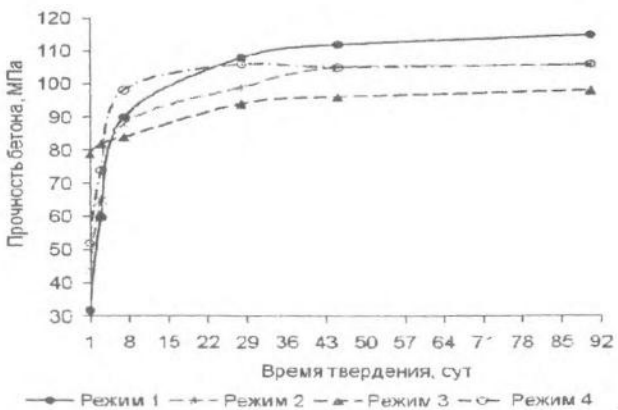


Рис. 1. Изменение прочности высокопрочного бетона от режима твердения

Из результатов экспериментов можно сделать следующие *выводы*:

1) фактически любая тепловая интенсификация твердения высокопрочного бетона относительно нормальных условий его твердения сопро-

вождается повышением темпа роста прочности в начальный период, но приводит к снижению прочности, как в проектном, так и в более «зрелом» возрасте (45 и 90 сут.);

2) твердение высокопрочного бетона при постоянной повышенной температуре среды (~ 40 °С) неоднозначно влияет на кинетику роста его прочности: в начальный период твердения (до 7 сут.) прочность бетона была выше ее значений для образцов нормально-влажностных условий твердения, однако к 14 – 18 сут. твердения значения прочности в означенных случаях сравнялись, а к проектному и более позднему возрасту (45 – 90 сут.) прочность образцов, твердевших при 40 °С, оказалась ниже прочности образцов-аналогов, твердевших в нормально-влажностных условиях;

3) повышение температуры твердения высокопрочного бетона сверх 40 °С однозначно сопровождается ее «недобором» в проектном возрасте.

Влияние тонкодисперсных компонентов. В проведенных экспериментах варьировали содержание в составе бетона количество микрокремнезема (МК) и каменной муки (КМ) – (молотого гранитного отсева) в количестве от 0 до 30 % от массы цемента и вводили в бетон в соотношении: МК:КМ = 1:1. Подвижность бетонной смеси в экспериментах была в пределах 6 – 8 см. Данные экспериментов приведены на рисунке 2 (*а* и *б*).

а)

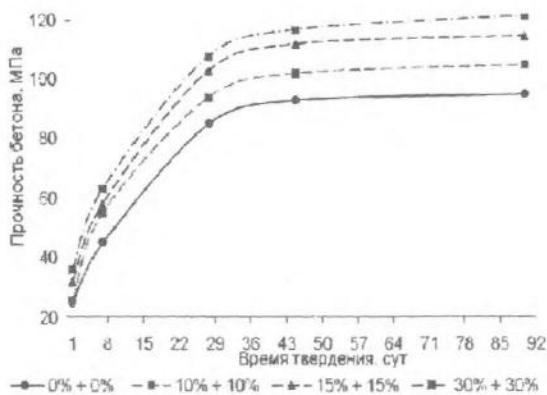


Рис. 2. Изменение прочности высокопрочного бетона от количества микрокремнезема и каменной муки: *а* – твердение в НВТ

Очевидна роль микрокремнезема и молотого гранитного отсева. Так, с ростом их дозировки прочность бетона (при прочих равных условиях)

возрастает, при этом более значительно в первые сутки твердения с начальным подогревом бетона. Учитывая полученные экспериментальные данные и опыт зарубежных исследований, увеличение дозировки МК и КМ до максимума (до 30 % от МЦ) целесообразно для бетонов прочностью более 120 МПа; для бетона прочностью в 100…110 МПа рациональным следует считать содержание МК и КМ в количестве 15 % от массы цемента.

б)

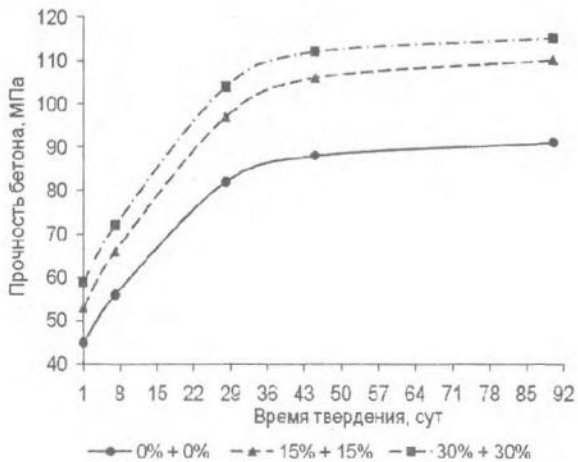
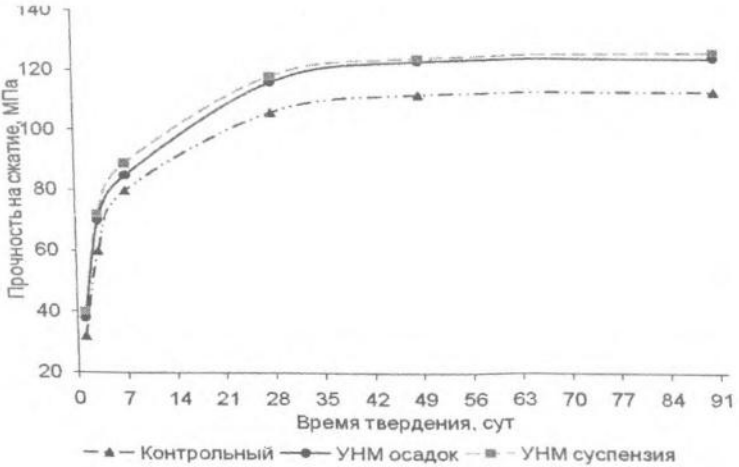


Рис. 2. Изменение прочности высокопрочного бетона от количества микрокремнезема и каменной муки
б – кратковременный нагрев до 50 °С

Влияние УНМ на прочность бетона. Здесь приводятся данные, относящиеся к использованию УНМ разновидностей «суспензия» и «осадок», полученных институтом «ИТМО» им. А.В. Лыкова НАН Беларуси; состав бетона одинаков с ранее приведенными экспериментами.

На рисунке 3 приведены экспериментальные данные о влиянии УНМ в дозировке 0,05 % от массы цемента на прочность бетона, твердевшего в нормально-влажностных условиях (*а*) и с кратковременным нагревом (*б*), из которых следует, что введение УНМ в целом способствовало повышению прочности бетона. Для бетона зафиксирован рост прочности в проектном возрасте на (10 – 15) %. При этом прочность бетона в первые 24 ч увеличилась на (25 – 30) %. К 90 сут. твердения рост прочности бетона за счет введения УНМ составил ~ (10 ± 2) %.

а)



б)

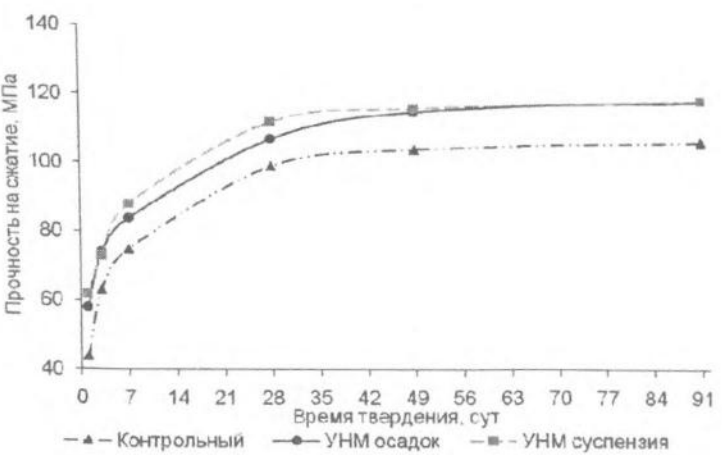


Рис. 3. Изменение прочности высокопрочного бетона от вида УНМ:
а – твердение в НВТ; *б* – кратковременный нагрев до 50 °С

Заключение. Результаты исследований кинетики твердения высокопрочного бетона, в течение до 90 сут, показали, что при благоприятных ус-

ловиях он наращивает прочность, относительно его значений для проектного (28 сут) возраста. При этом наиболее стабильные и высокие по значениям данные получены для стандартизированных условий.

Выявлено, что при средней температуре среды твердения: t ~ 40 ^{0}C и гидроизоляции при этом поверхности бетона, его проектная прочность достигается примерно к 7 сут. Установлено, что кратковременный разогрев высокопрочного бетона в первые 24 ч твердения до температуры: t ~ 50 ^{0}C допустим с позиций обеспечения его проектной прочности и ее роста в дальнейшем.

Влияние использованных в экспериментах разновидностей УНМ проявляется в росте прочности бетона от 10 % до 30 %, в зависимости от сроков твердения бетона. Установленная закономерность проявления большей эффективности в начальные сроки твердения бетона с последующим «сближением» значений прочности при увеличении возраста материала является подтверждением воздействия УНМ на процессы гидролиза - гидратации цемента, которые наиболее интенсивно развиваются в 24…72 ч твердения вяжущего.

Литература

1. Yamada, K. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylare-type superplasticizer / K. Yamada, T. Takahashi, S. Hanehara // Cement and Concrete Research. – 2000. – № 30. – P. 197 – 207.
2. Свиридов, Н.В. Бетон прочностью 150 МПа на рядовых портландцементах / Н.В. Свиридов, М.Г. Коваленко // Бетон и железобетон. – 1990. – № 2. – С 21–22.

УДК 666.972.69; 691.32

Федорович П.Л., Смоляков А.В.
(БНТУ, г. Минск)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО» ГРАНИТНОГО ОТСЕВА РУПП «ГРАНИТ»

Результаты исследований, выполненных в БНТУ, показали возможность использования отходов камнедробления, образующихся на РУПП «Гранит» Брестской области Беларуси при производстве крупного заполнителя для бетона [1 – 4].

Крупные фракции (~ 0,5 – 5,0 мм) гранитного отсева можно использовать для обогащения природных мелкозернистых песков и тем самым решить проблему, характерную для многих регионов Беларуси (особенно ее юго-восточных областей), заключающуюся в отсутствии местного качественного мелкого заполнителя для бетона. Как известно, улучшение гранулометрии мелкого песка за счет введения крупных фракций гранитного отсева обеспечивает рост плотности и прочности бетона, а на этой основе повышение его физико-технических характеристик и снижение на 5 – 15 % расхода цемента.

В настоящей статье приведены результаты исследований закономерностей влияния гранитного отсева на физико-технические свойства бетона.

Физико-технические свойства бетона на обогащенном песке. Результаты экспериментальных исследований, представленные далее, получены в варианте сравнения уровня показателей водопоглощения, морозо- и солестойкости образцов тяжелого бетона (куб с ребром 100 мм), изготовленных на природном песке с Мк = 1,0 и обогащенном до Мк = 2,0; 2,5; 3,0 и 3,5 переработанным гранитным отсевом, т.е. его крупными фракциями (≥ 0,63 мм), при соблюдении правила «прочих равных условий».

Для испытаний использовали «стандартизированный» состав бетона по оценке эффективности химических добавок по ГОСТ 30459 [5]: вяжущее – ПЦ 500 Д20 ($К_{нг}$ ~ 0,265; активность ~ 49,0 МПа); характеристики составов – таблица 1.

Таблица 1

Характеристика составов бетона для испытаний

№ состава бетона	Номинальный расход материалов, кг/м^3						ρ^0 бетонной смеси, кг/м^3	ОК, см
	Цемент	Щебень фр. 5-20	Мелкий заполнитель, кг			Вода (В/Ц)	факт.	
			Песок	Отсев	$М_к$, д.ед.			
1	350	1150	700	–	1,0	190 (0,54)	2412	≈3
2	350	1150	492	208	2,0	175 (0,5)	2447	≈3
3	350	1150	389	311	2,5	175 (0,5)	2460	≈3
4	350	1150	288	412	3,0	175 (0,5)	2483	≈2,5
5	350	1150	185	515	3,5	175 (0,5)	2495	≈2,5

Во всех случаях бетон уплотняли на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами вибрирования (амплитуда ~ 0,5 мм; частота колебаний ~ 50 Гц).

Бетон пропаривали по режиму: 2 + 3 + 6 (t ~ 80° С)+2 ч (и более), при испытании образцов на прочность или начало экспериментов (с целью ускорения процедуры испытаний, т.к. в стандартизированных условиях они длятся до 6-ти и более месяцев) в пределах 24 ч от момента их изготовления. Определение и обработка результатов по прочности бетона - по ГОСТ 10180 [6].

Водопоглощение бетона. Определение водопоглощения проводилось в соответствии с ГОСТ 12730.3 [7]. В таблице 2 приведены данные оценки изменения водопоглощения бетона (по массе и объему), являющегося характеристикой объема открытой, сообщающейся капиллярной пористости бетона, которая предопределяет его проницаемость и устойчивость при воздействии агрессивных эксплуатационных сред.

Таблица 2

Водопоглощение бетона по массе (W_m, %) и по объему (W_0, %)

№ состава по табл. 1	Характеристики песка:			W_m, %	W_0, %	Изменение W_m, в %-х от W_m, бетона состава № 1
	$M_к$, д.ед.	Содержание, кг				
		песка	отсева			
1	1,0	700	–	4,55	~ 10,6	100
2	2,0	492	208	3,40	~ 8,0	74,7
3	2,5	389	311	3,25	7,6	78,0
4	3,0	288	412	2,60	6,2	57,1
5	3,5	185	515	2,45	5,9	53,8

Солестойкость бетона. Циклические испытания на коррозионную устойчивость бетона составов по таблице 1 в среде хлоридов осуществлены по общепринятой методике [8]. Режим одного цикла (один раз в сутки) включал высушивание образцов при температуре в сушильном шкафу при t ~ 60°С в течение 7…8 ч и последующее насыщение в 5 %-ном растворе NaCℓ при t ~ 15°С (в ванне с погружением образцов не менее, чем на 50 мм под уровнем раствора) в течение 16…17 ч. Образцы бетона (составы № 1 - № 5 по таблице 1; кубы с ребром 100 мм) после изготовления пропаривали. Изменения массы образцов определяли через 5 и 20 циклов испытаний. Прочность бетона определяли в насыщенном жидкостью состоянии через 10 и 20 циклов испытаний. С целью ускорения процесса деструкции бетона

при испытаниях на солестойкость и сокращении времени проведения эксперимента образцы бетона после высушивания не охлаждали, а помещали в раствор разогретыми.

Таблица 3

Прочность бетона при циклическом насыщении-высушивании (5-% раствор NaCl)

№ состава по таблице1	Характеристики песка:			Прочность бетона, МПа, после количество циклов:				
	$М_к$, д.ед.	содержание, кг		0	10	30	50	70
		песка	отсева					
1	1,0	700	–	24,4	33,3	39,5	29,6	-
2	2,0	492	208	27,5	37,5	44,4	42,0	36,1
3	2,5	389	311	26,5	38,5	43,3	44,8	43,9
4	3,0	288	412	26,3	37,1	45,7	46,6	45,4
5	3,5	185	515	27,5	39,5	45,4	45,9	44,7

Морозостойкость бетона. Учитывая сравнительный характер испытаний бетона составов № 1 – № 5 по таблице 1 морозостойкость оценили, используя ускоренную методику. Во-первых, за счет испытаний образцов бетона сразу после пропаривания по ранее приведенному режиму (прочность бетона составила ~ 70 % от прочности проектного возраста), а во-вторых, используя 3-й метод по ГОСТ 10060 [9] с насыщением, замораживанием (Т~(–55…–60)°С) и оттаиванием (Т~18 °С) в 5% растворе NaCl.

Таблица 4

Прочность бетона в процессе испытаний

№ состава по таблице 1	Характеристики песка			Прочность бетона, МПа, через количество циклов:							Процент снижения f_c, %
	$М_к$, д.ед.	содержание, кг		0	2 (75)	3 (100)	4 (150)	5 (200)	8 (300)	12 (400)	
		песка	отсева								
1	1,0	700	–	24,5	24,0	23,4	–	–	–	–	4,5
2	2,0	492	208	29,7	30,2	30,9	30,0	28,9	–	–	3
3	2,5	389	311	31,2	32,2	32,4	33,5	31,8	30,0	–	4
4	3,0	288	412	32,8	33,3	34,1	33,9	33,2	31,6	30,2	8
5	3,5	185	515	32,9	33,6	34,3	34,8	34,9	33,7	30,5	7

Обобщение результатов экспериментов. Обобщая результаты приведенных в статье экспериментальных данных, можно сделать следующие выводы о влиянии приема обогащения мелкозернистого при-

родного песка крупными фракциями гранитного отсева на эксплуатационные свойства бетона.

Водопоглощение бетона (по массе и объему), характеризующее объем открытой, сообщающейся капиллярной пористости, снижается в соответствии с увеличением доли крупных фракций гранитного отсева. В частности, в рамках приведенных результатов экспериментов с 4,55 % до 3,4 – 2,45 %, т.е. в 1,3 – 1,85 раза или на 30 – 85 %. Соответственно этому растет плотность структуры и непроницаемость бетона.

Морозостойкость бетона повышается в 2 – 3 раза (и более) за счет снижения проницаемости бетона, формирования более плотной структуры и повышения прочности, т.е. создания необходимых предпосылок для устойчивости бетона к попеременному замораживанию-оттаиванию и воздействию сопровождающих эти процессы явлений: увеличения в объеме замерзающей «свободной» жидкости, ее миграции, различных по уровню деформаций в объеме цементного камня и бетона и других деструктивных факторов.

Коррозионная стойкость в среде солей-хлоридов возрастает в закономерной связи со снижением водопоглощения и проницаемости бетона на обогащенном крупными фракциями отсева песке. Это же относится и к устойчивости к воздействию пресной воды, имитируемой испытаниями на переменное увлажнение-высушивание, которые способны вызвать деструкцию бетона, что проявилось в образцах на тонком природном песке с $M_к = 1{,}0$ и не оказало влияния на образцы с обогащенным заполнителем.

Литература

1. Батяновский, Э.И. Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э.И. Батяновский, А.А. Дрозд, А.В. Смоляков // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1. – С. 73 – 79.
2. Смоляков, А.В. Технологические свойства бетонных смесей и прочность бетона с добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э.И. Батяновский, А.А. Дрозд, А.В. Смоляков // Строительная наука и техника. – 2009. – № 2(23). – С. 49 – 57.
3. Батяновский, Э.И. Долговечность железобетона с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э.И. Батяновский [и др.] // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я.Купалы (Гродно, 2010). – Гродно. – 2010. – С. 288 – 291.

4. Смоляков, А.В. Использование гранитного отсева в цементе и конструкционном бетоне / П.Л. Федорович; Э.И. Батяновский // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы III Междунар. симпоз. (Минск, 9 – 11 нояб. 2011 г.): в 2 т. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – Т 2: Технология бетона. – С. 438 – 451.
5. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности: ГОСТ 30459-96.
6. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90.
7. Бетоны. Метод определения водопоглощения: ГОСТ 12730.3-84.
8. Лещинский, М.Ю. Испытание бетона: справ. пособие / М.Ю. Лещинский. – М.: Стройиздат, 1980. – С. 286 – 289.
9. ГОСТ 10060-95 Бетоны. Методы контроля морозостойкости.

УДК 699.86.002

Мулярчик В.С.; Леонович С.Н., д-р техн. наук, проф.
(БНТУ, г. Минск)

КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ 5-ТИ ЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ СЕРИИ 1-335 И 1-464 БЕЗ ОТСЕЛЕНИЯ ЖИЛЬЦОВ

Представлены некоторые результаты исследований технологических решений проведения работ по капитальному ремонту 5-ти этажных жилых зданий серий 1-335 и 1-464 без отселения жильцов в минимальные сроки.

До настоящего времени не разработаны методы определения оптимальных решений капитального ремонта жилых массивов, позволяющие минимизировать энергетические, материальные, финансовые и трудовые ресурсы при капитальном ремонте жилищного фонда [1].

В начальной стадии находятся исследования по созданию индустриальных технологий и конструктивно-технологических систем, позволяющих вести интенсивный комплексный капитальный ремонт жилищного фонда конка 50-х, 60 – 70-х, в том числе и дома массовой застройки серий 1-335 и 1-464 [2 – 5].

Авторами проведена работа по изучению и улучшению существующих и разработке новых технологических решений проведения работ по капитальному ремонту 5-ти этажных жилых зданий серий 1-335 и 1-464 без отселения жильцов в минимальные сроки.

Выполнялся обзор и анализ состояния жилого фонда домов массовых серий, работ и процессов, проводимых при капитальном ремонте.

Выполнена серия вычислительных экспериментов по моделированию комплексного процесса капитального ремонта домов серий 1-335 и 1-464 с заданным количеством одиночных типовых процессов.

Краткая характеристика объектов исследования

Жилые дома серии 1-335:

Район строительства – Беларусь г. Минск.

Годы строительства – первые дома введены в 1959 г. по серии 1-335. Первоначально за основу была взята схема с так называемым неполным каркасом, т.е. с внутренним каркасом и несущими панелями наружных стен длиной 2,6 и 3,2 м. Внутренний каркас состоял из железобетонных колонн высотой в 1 этаж, установленных по продольной оси здания с шагом, равным размеру комнат, и прогонов, опирающихся на колонны и панели наружных стен. По прогонам укладывались перекрытия из плоских железобетонных плит толщиной 10 см.

Достоинством схемы неполного каркаса являлось использование несущей способности наружных стеновых панелей. Характерной особенностью этой серии крупнопанельных домов было применение в качестве несущих продольных стен двухслойных панелей вместо однослойных.

После обследования многих эксплуатируемых домов серии 1-335 решено было отказаться от схемы неполного каркаса и производить опирание прогонов на специальные пристенные колонны (серия I-335А). Таким образом, новая серия 1-335А стала каркасно-панельной.

Жилые дома серии 1-464:

Район строительства – Беларусь г. Минск, Украина г. Киев, Россия г. Москва.

Годы строительства – первые дома введены в 1958 г., 60-е – 70-е двадцатого века.

Крупнопанельные жилые дома серии 1-464 являются бескаркасными, с малым шагом поперечных несущих стен. Ширина корпуса 11,52 м.

Конструктивная система зданий этой серии позволяет устраивать новые или расширять существующие проемы в поперечных стенах в ограниченных пределах, однако при этом необходимо проверять достаточность несущей способности конструкций.

Концепция комплексного капитального ремонта индустриальной жилой застройки по сериям 1-335 и 1-464

Комплексный капитальный ремонт должен быть направлен на повышение эффективности использования застроенных территорий путем по-

вышения привлекательности потребительских качеств существующего индустриального жилья.

Проектно-технические и архитектурно-планировочные решения по формированию новой жилой среды в ходе капитального ремонта предопределяются, прежде всего, возможностью выбора различных вариантов архитектурных и организационно-технологических решений жилых домов.

Архитектурно-планировочные и организационно-технологические решения обуславливаются во многом не только особенностями, но и состоянием существующих построек. Поэтому наряду с предварительной оценкой санитарно-гигиенической ситуации необходимо изучить состояние жилищного фонда, в том числе состояние строительных конструкций и коммуникаций.

Мероприятия по комплексному капитальному ремонту жилых зданий (массивов) продолжительны по времени, поэтому в рамках таких проектов целесообразно определить очередность технологических процессов и ремонтно-строительных работ, планируя, по возможности, проведение работ без отселения жильцов на время проведения работ.

Комплексный капитальный ремонт индустриальной жилой застройки стал стратегическим направлением жилищного строительства. Он должен базироваться на следующих основных положениях[1,6]:

- старому жилищному фонду необходимо придать современные потребительские качества и продлить срок эксплуатации;
- необходимо комплексно решить проблему энергосбережения при эксплуатации жилищного фонда с созданием энергоэффективной эксплуатации жилья;
- обязательны санация и развитие объектов социальной инфраструктуры старых микрорайонов;
- необходима архитектурно-градостроительная совместимость ремонтируемого жилья с новой жилой застройкой;
- должны быть обеспечены экологическая безопасность микрорайонов и санитарно-гигиенические требования;
- стоимость и энергоемкость ремонтируемого жилья, эксплуатационные и прочие затраты должны быть минимальны.

Основная идея комплексного капитального ремонта состоит в доведении домов первых массовых серий и их потребительских качеств, продолжительности жизненного цикла до уровня новых домов, но с сохранением доступности для малообеспеченных слоев населения.

Математическая модель определения оптимального варианта комплексного капитального ремонта жилого здания серий 1-335 и 1-464

Для построения математической модели и алгоритма выбора оптимального варианта комплексного капитального ремонта индустриальной жилой застройки по сериям 1-335 и 1-464 введем понятие «комплексное преобразование жилого здания» [1].

Сформулируем несколько оптимизационных задач.

Найти вариант комплексного преобразования ω^o из множества $P \cap L$, при котором общая стоимость комплексного преобразования будет минимальной, т.е. $F(\omega^o) = \underline{\min} F(\omega)$ при условии, что прирост потребительских качеств будет не менее заданной величины $\| \overset{\cdot}{F} \|'$ и не более $\| \overset{\cdot}{F} \|''$ [6].

Тогда получим:

Модель 1

$$\begin{cases} Z(c_1) + Z(c_2) + ... + Z(c_i) + ... Z(c_n) \to \min \quad \textit{при условиц, что} \\ (c_1, c_2, ..., c_i, ..., c_n) \in P \cap L \quad u \quad \| \overset{\cdot}{F} \|'' \geq \overset{\cdot}{Z}(c_1) + \overset{\cdot}{Z}(c_2) + ... + \overset{\cdot}{Z}(c_i) + ... + \overset{\cdot}{Z}(c_n) \geq \| \overset{\cdot}{F} \|' \\ \textit{где} \quad Z(c_i) - \textit{общая продолжительность преобразования объекта } b_i \textit{ способом } c_i \in C_i \\ \qquad \overset{\cdot}{Z}(c_i) - \textit{прирост потребительских качеств на объекте } b_i,\ i = \overline{1,n};\quad c_i \in C^* \\ \qquad \| \overset{\cdot}{F} \|' \textit{ и } \| \overset{\cdot}{F} \|'' - \textit{заданные нижний и верхний суммарные пороги} \end{cases}$$

Обобщенная оптимизационная задача определения варианта комплексного капитального ремонта жилого здания ω^o из множества $P \cap L$, при котором общая продолжительность комплексного преобразования будет минимальной, т.е. $F(\omega^o) = \underline{\min} F(\omega)$ при условии, что прирост потребительских качеств будет не менее заданной величины $\| \overset{\cdot}{F} \|'$ и не более $\| \overset{\cdot}{F} \|''$.

Модель 2

$$\begin{cases} \overset{o}{Z}(c_1) + \overset{o}{Z}(c_2) + ... + \overset{o}{Z}(c_n) \to \min \\ \textit{при ограничениях} \quad (c_1, c_2, ..., c_n) \in P \cap L \\ \| \overset{\cdot}{F} \|' \leq \overset{\cdot}{F}(c_1, c_2, ..., c_n) \leq \| \overset{\cdot}{F} \|'' \\ \| \overset{o}{F} \|' \leq \overset{o}{F}(c_1, c_2, ..., c_n) \leq \| \overset{o}{F} \|'', \| \overset{\cdot}{F} \|', \| \overset{\cdot}{F} \|'', \| \overset{\cdot}{F} \|', \| \overset{\cdot}{F} \|'' - \textit{заданные пороговые величины} \end{cases}$$

Обобщенная оптимизационная задача определения по критерию минимума трудовых затрат при ограничениях на эксплуатационные издержки и прирост потребительских качеств.

Анализ результатов исследований

В качестве граничных следует принимать следующие условия [6]:

1) критерий времени 1 – минимальный срок производства работ;

2) критерий времени 2 – продолжительность производства работ в сутках – 8 часов в день с 9.00 до 19.00 (ограничение согласно законодательству Республики Беларусь);

3) фронт работ – на 1 подъезд жилого дома либо на 1 объект.

4) объект работ – жилой дом массовой серии 1-335 или 1-464, краткие характеристики изложены в главе 2;

5) стесненность условий – без отселения жильцов – позволяет сократить единовременные затраты при проведении капитального ремонта за счет экономии на переселении владельцев ремонтируемых квартир.

Учитывая критерии, факторы и переменные, приведенные выше, все ремонтно-строительные процессы и работы можно разбить на 3 группы [6]:

1) работы и процессы, не имеющие жесткой привязки к проведению работ в подъезде и не зависящие от наличия/отсутствия доступа в квартиры жильцов, подлежащих капитальному ремонту;

2) работы и процессы, имеющие опосредованную привязку к временному пребыванию/отсутствию жильцов и наличию/ отсутствию доступа в квартиры, подлежащие капитальному ремонту;

3) работы и процессы, имеющие непосредственную и жесткую привязку к наличию доступа в квартиру, а также сильно зависящие от стесненности условий в квартире для проведения работ.

Литература

1. Пилипенко, В.М. Комплексная реконструкция индустриальной жилой застройки. Организационно-технологические основы / В.М. Пилипенко. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2007. – 279 с.
2. Булгаков, С.Н. Реконструкция жилых домов первых массовых серий и малоэтажной жилой застройки / С.Н. Булгаков. – Казань: АБАК, 1998. – 248 с.
3. Грачев, В.А. Разработка методов повышения эксплуатационного качества и конкурентоспособности организационно-технологических решений реконструкции строений: дис. … канд. техн. наук: 05.23.08 / В.А. Грачев. – М., 2005. – 156 л.

4. Жидкова, С.В. Разработка универсальной индустриальной строительной системы реконструкции жилого фонда: дис. … канд. техн. наук: 05.23.01 / С.В. Жидкова. – М., 2005. – 128 л.
5. Бойкова, М.Л. Организационно-технологические и конструктивные особенности реконструкции зданий первых массовых серий: дис. … канд. техн. наук: 05.23.08 / М.Л.Бойкова. – М., 1999. – 186 л.
6. «Разработать технологию проведения работ по капитальному ремонту 5-ти этажных жилых зданий серии 1-335 и 1-464 без отселения жильцов в минимальные сроки. Выполнить анализ технологических операций и средств механизации по капитальному ремонту жилищного фонда типовых серий, определить условия сокращения продолжительности ремонтных работ» / БНТУ, НИЛ ПГС; С.Н.Леонович, В.С.Мулярчик. – Минск, 2012. – Инв. №976/12пб.

УДК 624.01

Дрозник Г.А.
(ПГУ, г. Новополоцк)

К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ЖИЛОГО ФОНДА ГОРОДА НОВОПОЛОЦКА

Одна из проблем эксплуатации жилых зданий старой застройки – промерзание отдельных участков ограждающих конструкций, низкие теплотехнические характеристики наружных стен.

Материалы для строительства должны обладать высокими конструктивными и эксплуатационными характеристиками, большое значение имеют и теплофизические свойства (сопротивление теплопередаче, паропроницаемость и др.). Кроме того, немаловажную роль имеет и экономическая сторона вопроса. Мировые цены на энергоносители стремятся вверх. Поэтому актуальной является проблема энергосбережения. Один из путей экономить на отоплении зданий, сберегая тепло.

Энерго- и ресурсосбережение в настоящее время является одним из основных направлений в области строительства. В энергосбережении большое значение отводится повышению теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Из общего объема потребляемой энергии, что составляет около 43 % вырабатываемой тепловой энергии, 90 % расходуется на отопление, 8 % – на производство строительных материалов и изделий, 2 % – на строительство. По сравнению с западноевропейскими странами это в

2 – 2,5 раза превышает средние показатели. Для уменьшения неоправданно большого эксплуатационного энергопотребления зданий введены новые нормативы по теплозащите зданий, которые предусматривают поэтапное снижение энергопотребления на 20 – 40 % путем увеличения в 1,5 – 3,5 раза коэффициентов сопротивления теплопередаче стеновых конструкций и сокращения теплопотерь различных конструктивных элементов [1].

Особое место в решении данной проблемы отводится не только новому строительству, но и эксплуатируемому фонду жилых и общественных зданий, теплотехнические характеристики которых не удовлетворяют современным требованиям. Снижение энергопотребления эксплуатируемых зданий может быть достигнуто путем повышения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций.

В практике зарубежных стран восстановление и, особенно, повышение теплозащитных качеств ограждений имеет широкое распространение. Это связано с постоянным пересмотром нормативных документов в сторону повышения требований и немедленной их реализацией. В нашей стране из-за отставания нормативных требований от практики, вызванного постоянным и незначительным ростом стоимости тепловой энергии, были разработаны технологии восстановления теплозащитных качеств ограждающих конструкций, утерянных во время эксплуатации, а также способы повышения теплозащиты узлов и соединений, неграмотно запроектированных с теплотехнической точки зрения (последнее в основном относится к крупнопанельным зданиям).

Установлено, что в зимний период теплопотери через окна жилых зданий составляют порядка 37 %, через стены – 35 %, через кровлю и пол – 15 и 13 % общих потерь тепла зданием.

Сокращения теплопотерь через оконные заполнения зданий опорного жилищного фонда можно добиться заменой старых окон на новые или проведением мероприятий, направленных на доведение теплозащитных качеств окон до нормативных требований [2].

Проблема была глубоко изучена и решение о применении современных высокотехнологичных окон повсеместно внедряется в строительстве и при реконструкции зданий различного назначения. Однако относительно стен остаётся открытым вопрос по совершенствованию нормативных документов, применяющимся материалам и конструктивным решениям. Это говорит о том, что какими бы ни были мероприятия по сокращению теплопотерь через дорогостоящие окна, без изучения и проведения дополнительных мероприятий по теплозащите стен, они не дадут ожидаемого эффекта.

В Республике Беларусь уровень тепловой защиты здания наружными стенами оставался почти без изменений до 1994 года. Он определялся

нормированием величины сопротивления теплопередаче R_0, которое было основано на принципах обеспечения санитарно-гигиенических требований внутри помещения и ограничения теплопотерь в отопительный период при минимуме приведенных затрат на возведение ограждения и его эксплуатацию. Поэтому, при проектировании наружного ограждения должны были соблюдаться два условия:

1) сопротивление теплопередаче R_0 во всех случаях должно быть не менее требуемого по санитарно-гигиеническим условиям сопротивления теплопередаче $R_0^{тр}$;

2) сопротивление теплопередаче ограждения R_0 принимается равным экономически целесообразному сопротивлению $R_0^{эк}$, определяемому из условия обеспечения наименьших приведенных затрат [3].

Как показала практика, даже небольшие ошибки, допускаемые при конструировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации ограждающих конструкций, вели к понижению температуры на внутренней поверхности стен ниже допустимой, что зачастую приводило к выпадению конденсата.

Такой принцип нормирования и допускаемые ошибки привели к тому, что в среднем по стране на 1 м^2 отопления общей площади жилого здания необходимо порядка 88 кг условного топлива в год, что превышает аналогичный показатель в странах, находящихся в сопоставимых климатических условиях в 2,5 – 3 раза.

Повышение теплозащитных качеств стеновых ограждающих конструкций заключается в увеличении их сопротивления теплопередачи до нормативных значений, действующих в настоящее время. Это достигается утеплением стен теплоизоляционными материалами, которые должны защищаться от наружных воздействий защитно-декоративным слоем, способным, при необходимости, сохранить или улучшить архитектурно-художественного облик здания или помещения.

В практике устройства дополнительной теплозащиты стен существует два основных способа ее расположения - с наружной или внутренней стороны стены. Иногда встречается конструктивно-технологическое решение устройства теплозащиты зданий с расположением утеплителя с наружной и внутренней стороны стены одновременно. Данный способ можно назвать комбинированным. Конкретный вариант расположения теплозащиты устанавливается на основе анализа всех возможных способов ее устройства с учетом их достоинств и недостатков.

Вариант с расположением теплоизоляционного материала на внутренней поверхности стены обладает следующими достоинствами:

– теплоизоляционный материал, как правило, не имеющий достаточной способности к сопротивлению воздействиям внешней среды, находит-

ся в благоприятных условиях и, следовательно, не требуется его дополнительная защита;

– производство работ по устройству теплозащиты может идти в любое время года независимо от способа крепления. При этом не требуется применение дорогостоящих средств подмащивания.

К недостаткам расположения теплозащиты со стороны помещения относятся:

– уменьшение площади помещения за счет увеличения толщины стены;

– необходимость устройства, с целью исключения выпадения конденсата, дополнительной теплозащиты в местах опираний на стены плит перекрытий и в местах примыкания к наружным стенам внутренних стен и перегородок;

– необходимость защиты теплоизоляционного материала и стены от увлажнения путем устройства пароизоляционного слоя перед теплоизоляционным материалом;

– расположение хорошо аккумулирующего тепло материала стены (например, кирпичной кладки) в зоне низких температур, что в значительной мере снижает тепловую инерцию ограждения;

– невозможность защитить стыки крупнопанельных зданий от протечек;

– невозможность менять архитектурно-художественный облик фасада здания;

– необходимость отселения жильцов;

– сложность устройства теплоизоляции в местах расположения приборов отопления, а также в пределах толщины пола [4].

Следует отметить, что в большинстве случаев устройство дополнительной теплоизоляции с внутренней стороны стены производится на стадии реконструкции с полной заменой санитарно-технического оборудования и конструкций пола. Поэтому, последний недостаток данного способа является менее существенным по сравнению с остальными.

Вариант расположения теплозащиты с наружной стороны стены обладает существенными достоинствами. К ним, в частности, относятся:

– создание защитной термооболочки, исключающей образование «мостиков холода»;

– исключение необходимости устройства пароизоляционного слоя;

– возможность защитить стыки крупнопанельных зданий от протечек;

– создание нового архитектурно-художественного облика здания;

– возможность одновременно с устройством теплоизоляции исправлять дефекты стены;

– при устройстве теплоизоляции с наружной стороны стены не уменьшается площадь помещений;

– отсутствуют неудобства, связанные с устройством теплоизоляции в местах расположения приборов отопления и в пределах толщины пола.

– расположение хорошо аккумулирующего тепло материала стены в зоне положительных температур;

Это повышает тепловую инерцию ограждения и способствует улучшению ее теплозащитных качеств при нестационарной теплопередаче. При этом сохраняются следующие преимущества высоких теплоаккумулирующих качеств стены: колебания уровня теплоотдачи систем отопления, работающих в определенном режиме (т.е. практически всех систем центрального отопления), почти не отражаются на температуре воздуха внутри помещения; кратковременные притоки холодного воздуха (при каждом открывании окон и дверей) не приводят сразу же к охлаждению помещения; температурные колебания наружного воздуха сказываются на внутреннем климате помещения не столь ощутимо (особенно, в летний период) [5].

Существенными недостатками этого варианта является необходимость устройства по теплоизоляции надежного защитного слоя, а также использование при выполнении работ дорогостоящих средств подмащивания.

Устройство теплозащиты с наружной и внутренней стороны стены одновременно в настоящее время не используется, так как данный способ обладает большой трудоемкостью работ. Он применялся в тех случаях, когда была необходимость восстановить локальные теплозащитные качества стены. Для этого требовалось только оштукатурить наружную и внутреннюю поверхности стен «теплыми» растворами.

Известно не менее 300 методов и способов утепления промерзающих стен. В Беларуси наиболее распространено утепление методом, получившим название «термошуба».

В начале 2000-х годов была поставлена задача произвести тепловую модернизацию жилых домов первых массовых серий в Республике Беларусь, т.е. жилые дома 60-70-х лет постройки. Согласно плану в г. Новополоцке необходимо было модернизировать 82 жилых дома. В перечень объектов по ремонту входили жилые дома по ул. Школьная, ул. Кирова ул. Блохина, ул. Молодежная.

Планировалось до 2015 года производить ремонт 7 – 9 жилых домов ежегодно, предусматривалось финансирование из бюджета, однако с 2004 по 2012 год выполнено утепление только 27 жилых домов из-за недостаточного финансирования по этой статье.

Проблема ухудшения санитарно-технического состояния и микроклимата в жилых помещениях в связи с промерзанием отдельных участков ограждающих конструкций очень часто возникают как в давно эксплуати-

руемых зданиях, так и в новостройках. В ответ на жалобы жильцов местное утепление приходится выполнять и в новых жилых домах.

В 2008 году по приказу Министерства жилищно-коммунального хозяйства проводилось обследование состояния теплотехнических характеристик ограждающих конструкций жилого фонда Республики Беларусь, составлялись планы на ближайшие 3 года по ремонту и восстановлению теплотехнических характеристик стеновых конструкций.

В городе Новополоцке за период 2008 – 2012 годов произведен ремонт с утеплением отдельных стеновых панелей в 262 квартирах, ремонт стыков наружных стен с утеплением промерзающих участков произведен более чем в 100 квартирах.

Особенностью производства ремонта наружных стен с восстановлением теплотехнических характеристик в тех случаях, когда внутри наружной стеновой панели образовалась пустота, является заполнения пустот монтажной пеной.

Наблюдения за состоянием микроклимата в квартирах после ремонта и замеры теплотехнических характеристик дают возможность говорить о высокой эффективности метода.

Проблема промерзания отдельных участков наружных стен снята более чем в 95 % случаев.

Выполнение работ по тепловой реабилитации жилого фонда старой застройки продолжает оставаться одной из главных задач в городе Новополоцке, так как только в случае её решения возможно говорить не только об улучшении условий проживания в старых квартирах, но и значительной экономии энергозатрат на отопление жилого фонда.

Литература

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. – Введ. 01.07.2007. – Минск: Минстройархитектуры, 2007. – 35 с.
2. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: СНБ 2.04.01-97. – Введ. 01.07.1997. – Минск: Минстройархитектуры, 1997. – 35 с.
3. Бойко, А.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. Справочное пособие / А.Д. Бойко. – М.: Стройиздат, 1993. – 365 с.
4. Параметры микроклимата: ГОСТ 30484-91. – Введ. 01.01.1991. – М.: Госстрой, 1991. – 19 с.
5. Афонасьев, А.А. Технология утепления фасадов при реконструкции зданий. Экспресс-информация / А.А. Афонасьев, Е.П. Матвеев. – М.: Стройиздат, 1997. – 57 с.

УДК 624.012.46

Павлова И.П., канд. техн. наук., доцент;
Бондаренко В.М., канд. техн. наук
(БрГТУ, г. Брест)

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ СТАЛЕТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА НАПРЯГАЮЩЕМ БЕТОНЕ

Для эффективного использования композитных сталетрубобетонных элементов необходимым условием является совместное действие ядра и оболочки. Один из перспективных способов обеспечения совместной работы стальной оболочки и бетонного ядра сталетрубобетонных элементов в поперечном направлении при действии продольных сжимающих усилий – применение бетонов на напрягающем цементе. Такие бетоны изготавливают на основе портландцемента и расширяющихся добавок. Среди разнообразия применяемых добавок особый интерес представляют алюминатносульфатные и алюмооксидные добавки, а также их комбинации, свойства которых определяются условиями гидратации и твердения алюминатов и сульфоалюминатов кальция, а также их соединений с силикатами и сульфатами.

Изучением условий образования гидрата сульфоалюмината кальция, его модификаций, порядка их превращений и устойчивостью структуры занимаются многие исследователи [1 – 3]. Однако единого взгляда относительно свойств гидратов сульфоалюмината кальция не установлено. Наоборот, во многих случаях высказывают прямо противоположные мнения.

С точки зрения применения напрягающего цемента и бетонов на его основе трубобетонные элементы обладают следующими особенностями:

– в процессе твердения бетона на напрягающем цементе практически невыполнимо его внешнее увлажнение, а следовательно, рост собственных деформаций происходит в условиях изоляции без доступа дополнительной свободной воды при гидратации, необходимой для перекристаллизации моносульфата в эттрингит;

– процессу расширения напрягающего бетона препятствует внешняя стальная оболочка элемента, в результате чего твердеющее бетонное ядро находится в трехосном напряженном состоянии сжатия.

Таким образом, состав напрягающего цемента и бетона на его основе, используемого при изготовлении самонапряженных сталетрубобетонных элементов, должен обеспечивать большую энергию расширения (самонапряжения) в условиях трехосного ограничения без дополнительного увлажнения в процессе твердения.

Как было отмечено выше, применение традиционных напрягающих цементов (типа М) [6] в сталетрубобетонных элементах оказывается неэффективным в связи с изолированными условиями твердения в условиях объемного ограничения, так как для реализации полного механизма расширения данного вяжущего через образование эттрингита обязательным условием является дополнительный доступ свободной воды в процессе гидратации.

Для решения означенной проблемы было предложено использовать четырехкомпонентный состав, отличающийся от классического (типа М) введением в систему четвертой составляющей – добавки РСАМ [7], позволяющий осуществлять расширение по двум механизмам:

1) образование высокосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция (эттрингита)

$$C_4A_3S + 8CaSO_4 + 6CaO + 96H_2O \rightarrow 3C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O;$$

2) образование гидроксида кальция (портландита)

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2.$$

Применение добавок такого типа позволит получать необходимую величину самонапряжения бетона в изолированном состоянии без дополнительного увлажнения, варьируя как количественный состав напрягающего цемента, так и его расход.

Для экспериментальной проверки выдвинутых предположений был изготовлен напрягающий цемент, представляющий собой смесь портландцемента марки М500 Д0 с комплексной расширяющейся добавкой. В качестве расширяющейся добавки использовалась смесь глиноземистого цемента марки ГЦ-40, двуводного гипса и расширяющегося сульфоалюминатного модификатора (РСАМ). Химический состав компонентов напрягающего цемента приведен в таблице 1. Массовые соотношения компонентов напрягающих цементов, использованных в экспериментальных исследованиях, приведены в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав компонентов напрягающего цемента

Компоненты	Содержание окислов, %					
	Al_2O_3	CaO	SO_3	C_3A	MgO	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Портландцемент марки М500 Д0	4,6	64,88	2,14	5	1,61	–
Глиноземистый цемент	34,92	35,5	0,79	–	–	–
Гипс	–	–	–	–	–	75,1
РСАМ	7,8	32,71	24,22	–	1,68	–

Таблица 2

Массовые соотношения компонентов напрягающих цементов

Марка цемента	Массовое содержание компонентов, %			
	портландцемент М500 Д0 (ПЦ)	глиноземистый цемент (ГЦ)	гипс (Г)	рСАМ
НЦ1	63	15	12	10
НЦ2	72	11	9	8

Расход цемента назначался таким образом, чтобы получить бетоны с разными показателями расширения. Составы бетонных смесей, рассчитанные в соответствии с рекомендациями [8], приведены в таблице 3.

Таблица 3

Составы бетонных смесей

Марка бетонной смеси	Расход сырьевых материалов на 1 м^3 бетонной смеси						
	вяжущее		песок, кг	щебень, кг	В/Вяж	вода, л	ГП-1, л
	марка	расход, кг					
НБ1	НЦ1	664	550	900	0,43	282	5,08
НБ2	НЦ1	480	650	1010	0,45	213,5	3,67
НБ3	НЦ2	664	550	900	0,43	282	5,08

Высокое содержание алюминатной составляющей в композитном вяжущем приводит к потере:

– удобоукладываемости бетонной смеси;

– сокращению сроков схватывания.

Технология изготовления трубобетонных элементов [9] требует применения высокоподвижных смесей. Поэтому одним из основных требований при использовании напрягающего бетона в трубобетонных конструкциях является применение высокоэффективных пластификаторов. Кроме того, трубобетонные элементы преимущественно изготавливаются непосредственно на строительной площадке, а значит, к бетонным смесям также предъявляются жесткие требования по срокам схватывания и сохранению подвижности в течение определенного промежутка времени.

Применение традиционных суперпластификаторов, относящихся к ряду поверхностно активных веществ (ПАВ), неэффективно в связи с блокировкой высокоактивных алюминатов, которые являются источником расширения, о чем свидетельствует ряд исследований [10 – 13]. Поэтому для достижения требуемого пластифицирующего эффекта с одновременным сохранением жизнеспособности бетонной смеси на НЦ в качестве пластификатора применен суперпластификатор, относящийся к разряду поликар-

боксилатных, механизм действия которого, основанный на стерическом эффекте (рис. 1), наиболее эффективен с точки зрения получения максимальных деформаций расширения в высокоподвижных бетонах на НЦ [13].

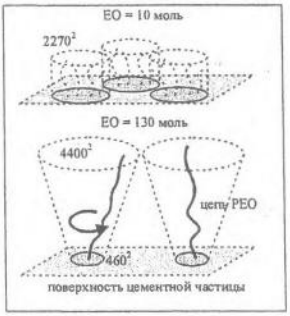


Рис. 1. Схематическое представление
стерического эффекта при действии СП

Определение значений самонапряжения напрягающих бетонов выполнено в соответствии с требованиями [15] на бетонных призмах размером 100×100×400 мм в динамометрических кондукторах реализующих условия одноосного упругого ограничения с жесткостью эквивалентной продольному армированию в 1 %, а прочности на сжатие – по ГОСТ 10180-90 [16] на кубах с ребром 100 мм. При этом хранение кондукторов и кубов осуществлялось как в водных условиях, так и изолированных – без доступа дополнительной свободной воды в процессе гидратации.

Графическая интерпретация данных по определению самонапряжения и прочности на сжатие бетонов НБ1-НБ3 представлена на рисунках 2 и 3, а основные результаты сведены в таблицы 4 и 5 соответственно.

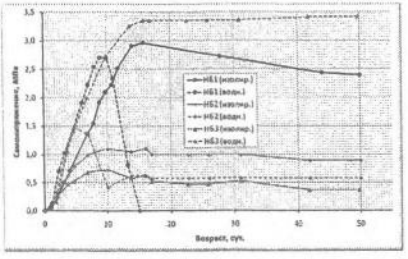


Рис. 2. Результаты
определения самонапряжения

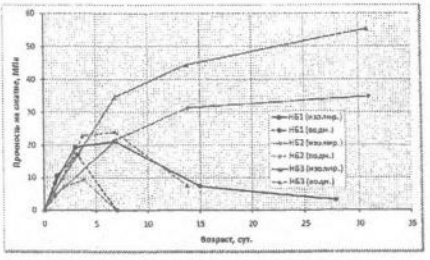


Рис. 3. Результаты
определения прочности на сжатие

Таблица 4

Основные результаты определения самонапряжения бетонов по методике [15] при хранении образцов в изолированных условиях

Маркировка бетонных образцов	Самонапряжение по методике [15] при хранении в изолированных условиях				Состояние призм в кондукторах
	максимальное		в конце наблюдений		
	возраст, сут.	значение, МПа	возраст, сут.	значение, МПа	
НБ1	15,8	2,97 (7,2)	50 (27,8)	2,40 (3,1)	Видимых нарушений структуры бетона не выявлено
НБ2	10	1,10 (26)	50 (31)	0,89 (34,8)	Видимых нарушений структуры бетона не выявлено
НБ3	9,9	0,74 (39)	50 (31)	0,37 (55,3)	Видимых нарушений структуры бетона не выявлено
Примечание. В скобках указаны данные по определению прочности бетонов по ГОСТ 10180-90 [16].					

Таблица 5

Основные результаты определения самонапряжения бетонов по методике [15] при хранении образцов в воде

Маркировка бетонных образцов	Самонапряжение по методике [15] при хранении в изолированных условиях				Состояние призм в кондукторах
	максимальное		в конце наблюдений		
	возраст, сут.	значение, МПа	возраст, сут.	значение, МПа	
НБ1	9	2,70	50	–	Явное разрушение структуры с отделением крупного заполнителя от цементно-песчаной матрицы
НБ2	4,8	1,47	50	0,58	Нарушение геометрии «разбухание», образование продольных трещин на гранях с шириной раскрытия до 1 мм и глубиной до 10 мм
НБ3	15,9	3,36	50	3,41	Образование продольных трещин на гранях с шириной раскрытия до 0,5 мм и глубиной до 5 мм
Примечание. Образцы из бетонов НБ1, НБ2 и НБ3 помещались в воду в возрасте 1,2; 1,9 и 1,8 суток при прочности на сжатии по ГОСТ 10180-90 [16] 10,6; 7,2 и 10,1 МПа соответственно.					

Общий вид разрушения бетонных призм из бетонов НБ, НБ2 и НБ3 в динамометрических кондукторах, хранившихся в воде, представлен на рисунке 4.

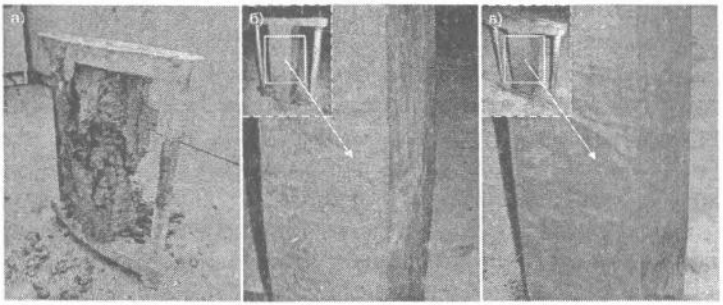


Рис. 4. Общий вид разрушения бетонных призм
в динамометрических кондукторах, хранившихся в воде:
а – характерное разрушение призм из бетона НБ1;
б – характерное разрушение призм из бетона НБ2;
в – характерное разрушение призм из бетона НБ3

В данной работе исследованы собственные деформации трубобетонных элементов на основе бетона НБ1, показавшего максимальную энергоактивность в изолированных условиях при одноосном упругом ограничении (см. рис. 2 и табл. 4). Экспериментальная серия включает 9 образцов (по три «образца-близнеца» для каждой толщины стенки, см. табл. 6).

Таблица 6

Основные характеристики экспериментальных образцов

Номер серии	Марка образца	Размеры, мм	Марка напрягающего бетона
I	СНСТБЭ.200.1-1	∅ 200; $t = 1$; $l = 600$	НБ1
	СНСТБЭ.200.1-2	∅ 200; $t = 1$; $l = 600$	
	СНСТБЭ.200.1-3	∅ 200; $t = 1$; $l = 600$	
II	СНСТБЭ.200.1,5-1	∅ 200; $t = 1{,}5$; $l = 600$	НБ1
	СНСТБЭ.200.1,5-2	∅ 200; $t = 1{,}5$; $l = 600$	
	СНСТБЭ.200.1,5-3	∅ 200; $t = 1{,}5$; $l = 600$	
III	СНСТБЭ.200.2-1	∅ 200; $t = 2$; $l = 600$	НБ1
	СНСТБЭ.200.2-2	∅ 200; $t = 2$; $l = 600$	
	СНСТБЭ.200.2-3	∅ 200; $t = 2$; $l = 600$	

Использование суперпластификатора поликарбоксилатного типа позволило отказаться от дополнительного уплотнения бетонной смеси при бетонировании сталетрубобетонных элементов, при этом расплыв конуса

по СТБ 1544-2005 [18] составил 86 см, что соответствует марке бетонной смеси по удобоукладываемости РК-6.

Для измерения продольных и тангенциальных деформаций оболочек сталетрубобетонных элементов на стадии расширения напрягающего бетона использовались тензорезисторы с базой 20 мм, наклеенные в соответствующих направлениях. По высоте элементов тензорезисторы наклеивались в трех уровнях – по центру и на расстоянии 100 мм от торцов, а в поперечном направлении – через 120°. Таким образом, деформации образца измерялись с помощью 18 тензорезисторов (по 9 тензорезисторов для каждого из направлений) (см. рис. 5, б).

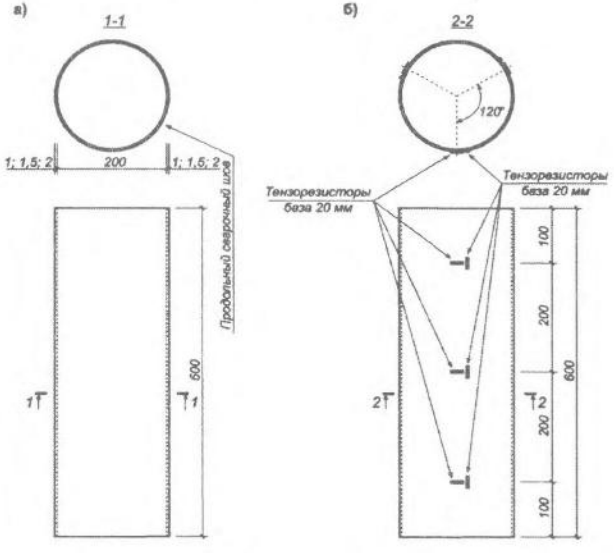


Рис. 5. Стальные оболочки
для изготовления самонапряженных сталетрубобетонных элементов:
а – геометрические параметры оболочек;
б – схема расположения тензорезисторов на поверхности оболочек

По экспериментально измеренным продольным и тангенциальным деформациям оболочки сталетрубобетонного элемента с помощью обобщенного закона Гука вычислялись напряжения в оболочке по соответствующим направлениям:

$$\sigma_{s,\theta} = \frac{E_s}{1-\nu_s^2}(\varepsilon_{s,\theta} + \nu_s \varepsilon_{s,z}), \qquad (1)$$

$$\sigma_{s,z} = \frac{E_s}{1-\nu_s^2}(\varepsilon_{s,z} + \nu_s \varepsilon_{s,\theta}), \quad (2)$$

где $\sigma_{s,\theta}$, $\sigma_{s,z}$ – тангенциальные и продольные напряжения в оболочке соответственно; $\varepsilon_{s,\theta}$, $\varepsilon_{s,z}$ – тангенциальные и продольные относительные деформации оболочки соответственно; E_s, ν_s – модуль упругости и коэффициент Пуассона стали соответственно.

Затем, учитывая коэффициенты армирования, а также предполагая равенство тангенциальных и радиальных напряжений в бетоне, определялись напряжения в ядре элемента по формулам

$$\sigma_{CE,\rho} = \sigma_{s,\theta} \cdot \rho_\rho, \quad (3)$$

$$\sigma_{CE,z} = \sigma_{s,z} \cdot \rho_z, \quad (4)$$

где $\sigma_{CE,\rho}$, $\sigma_{CE,z}$ – радиальные и продольные напряжения в бетонном ядре.

Графическая интерпретация экспериментальных данных по определению тангенциальных и осевых (продольных) относительных деформаций и вычисленных по ним соответствующих напряжений в сталетрубобетонных элементах на напрягающем бетоне приведена на рисунках 6 – 8.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований средние радиальные $\sigma_{CE,\rho}$ и осевые $\sigma_{CE,z}$ (продольные) напряжения сжатия в бетоне самонапряженных сталетрубобетонных элементов достигли следующих значений:

– в элементах серии I с толщиной стенки оболочки t_s = 1 мм ($\rho_\rho = 1\,\%$, $\rho_z = 2\,\%$) $\sigma_{CE,\rho} = 4{,}83$ МПа, $\sigma_{CE,z} = 5{,}27$ МПа;

– в элементах серии II с толщиной стенки оболочки t_s = 1,5 мм ($\rho_\rho = 1{,}5\,\%$, $\rho_z = 3\,\%$) $\sigma_{CE,\rho} = 6{,}23$ МПа, $\sigma_{CE,z} = 5{,}97$ МПа;

– в элементах серии III с толщиной стенки оболочки t_s = 2 мм ($\rho_\rho = 2\,\%$, $\rho_z = 4\,\%$) $\sigma_{CE,\rho} = 7{,}57$ МПа, $\sigma_{CE,z} = 7{,}13$ МПа.

Величина самонапряжения бетона НБ1, использованного для изготовления опытных образцов, по самонапряжению, определенная в условиях одноосного стандартного ограничения (1 %), но при хранении в изолированных условиях (моделирующих условия твердения бетона в трубе), составила $\sigma_{CE} = 2{,}4$ МПа (см. рис. 2 и табл. 5).

По величине самонапряжения бетона был выполнен расчет самонапряжения бетонного ядра элементов серий I-III по мультипликативной зависимости [19].

Для элементов с толщиной стенки оболочки 1; 1,5; 2 мм самонапряжение ядра в радиальном и продольном направлениях соответственно составило 3,6 и 3,98 МПа; 3,84 и 4,14 МПа; 3,98 и 4,22 МПа.

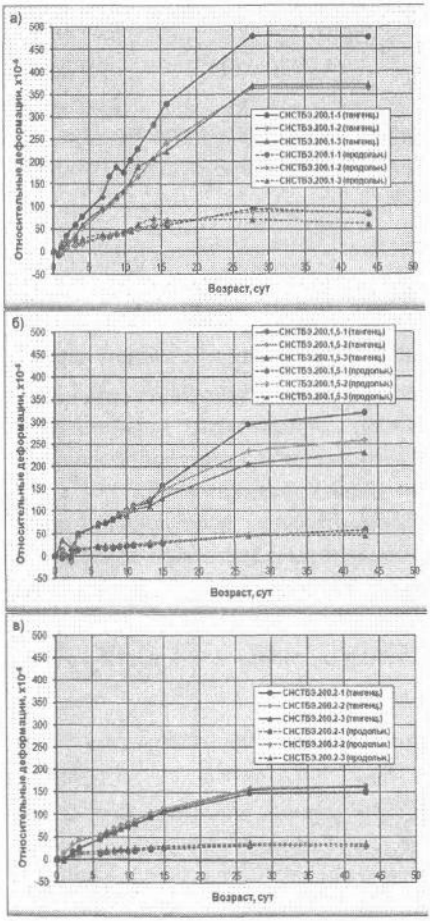


Рис. 6. Тангенциальные и осевые (продольные) относительные деформации оболочек сталетрубобетонных элементов:
а – при толщине стенки оболочки 1 мм;
б – при толщине стенки оболочки 1,5 мм;
в – при толщине стенки оболочки 2 мм

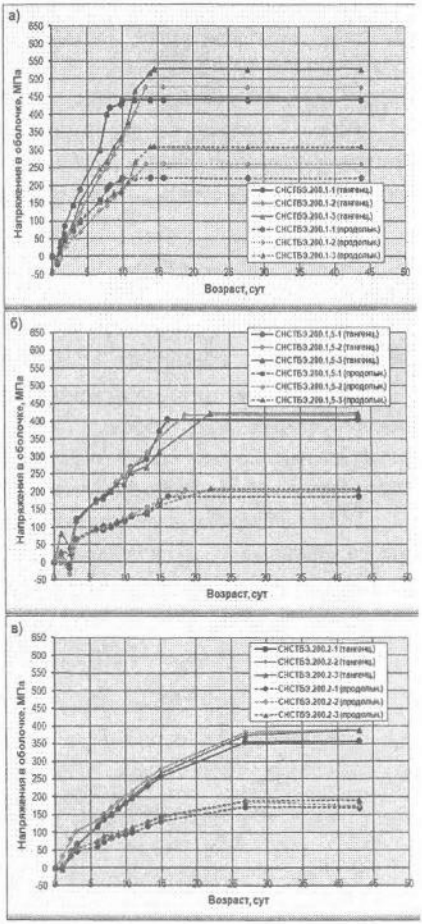


Рис. 7. Тангенциальные и осевые (продольные) напряжения в оболочках сталетрубобетонных элементов:
а – при толщине стенки оболочки 1 мм;
б при толщине стенки оболочки 1,5 мм;
в – при толщине стенки оболочки 2 мм

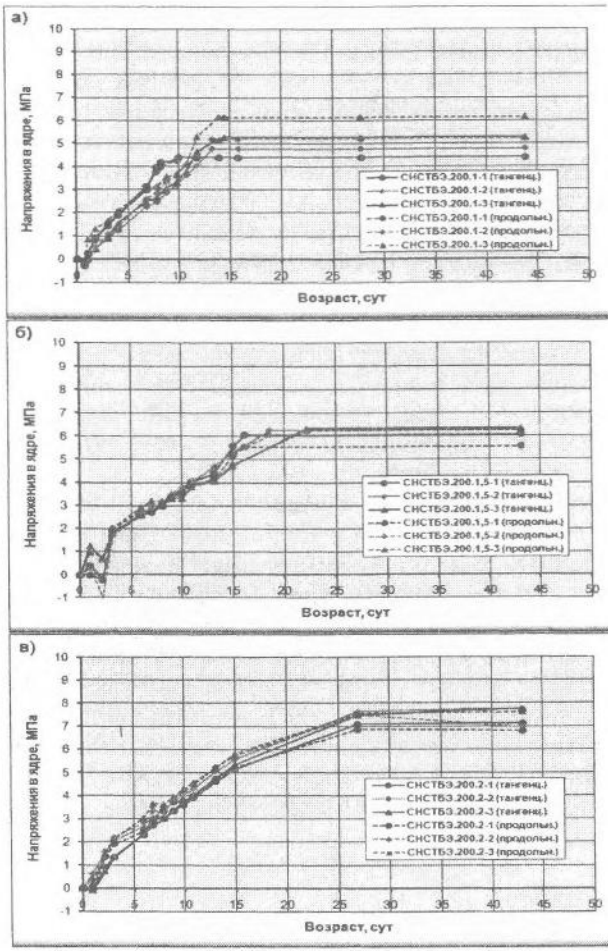


Рис. 8. Тангенциальные и осевые (продольные) напряжения в ядрах сталетрубобетонных элементов:
а – при толщине стенки оболочки 1 мм; *б* – при толщине стенки оболочки 1,5 мм; *в* – при толщине стенки оболочки 2 мм

Заключение

Выполненные экспериментальные исследования свидетельствуют об эффективности применения комплексной расширяющейся добавки для получения самонапряженных сталетрубобетонных элементов. При этом возможно получать необходимую величину самонапряжения бетона ядра, варьируя количественный состав напрягающего цемента и его расход.

Применение комплексной расширяющейся добавки позволило решить основную проблему использования классических напрягающих цементов и бетонов на их основе в трубобетоне – рост собственных деформаций в условиях изоляции без доступа дополнительной свободной воды в процессе гидратации, необходимой для перекристаллизации моносульфата в эттрингит.

Значения самонапряжения рассчитанные по мультипликативной зависимости [19] значительно занижены в сравнении с экспериментально полученными значениями самонапряжения бетонного ядра сталетрубобетонных элементов. Это может объясняться тем, что условия хранения образцов из напрягающего бетона при определении базовой характеристики – величины самонапряжения (см. табл. 6), необходимой для расчета самонапряжения бетона в конструкции, отличались от стандартных условий [19] – хранение образцов после набора бетоном прочности 8 – 15 МПа в воде или обильно влажном состоянии. Однако при водном хранении образцов, вследствие высокой энергоактивности составов, происходило разрушение структуры напрягающего бетона (см. табл. 6).

Таким образом, в связи с изолированными условиями твердения напрягающего бетона в условиях объемного ограничения стальной оболочкой трубобетонного элемента, а также вследствие необходимости достижения высокой энергии расширения таких составов, необходима корректировка методик определения базовых характеристик напрягающего бетона [15; 19], а также напрягающего цемента [20]. Это в свою очередь требует пересмотра зависимостей [19; 6] по прогнозированию самонапряжения бетона в конструкции в условиях объемного ограничения и внесения в ТНПА альтернативных методик определения прочностных характеристик и величин самонапряжения в условиях, аналогичных работе конструктивного элемента, т.е. в условиях объемного ограничения.

Литература

1. Красильников, К.Г. Физико-химия собственных деформаций цементного камня / К.Г. Красильников, Л.В. Никитина, Н.Н. Скоблинская. – М.: Стройиздат, 1980.
2. Кузнецова, Т.В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы / Т.В. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1986.
3. Кузнецова, Т. В. Структура и свойства расширяющихся и напрягающих цементов / Т.В. Кузнецова // Ресурсосберегающие технологии железобетонных конструкций на основе напрягающих цементов: сб. докл. всесоюз. конф. в г. Грозном. – М.: Стройиздат, 1989. – С. 8 – 9.

4. Михайлов, В.В. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные железобетонные конструкции / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 312 с.
5. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные железобетонные конструкции / В.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1978.
6. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В.В. Тур. – Изд-во БПИ, 1997. – 276 с.
7. Протько, Н.С. Свойства и особенности применения расширяющей добавки РСАМ в технологии бетона и растворов / Н.С. Протько // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5. – С. 123 – 130.
8. Рекомендации по проектированию составов бетонов с компенсированной усадкой или самонапряжением. – Брест: БГТУ, 2005. – 13 с.
9. Design Guide for SHS Concrete-Filled Columns. – Corus Tubes, 2002.
10. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1998. – 768 с.
11. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 215 с.
12. Тур, В. В. Самонапряженный железобетон: исследование, опыт и перспективы применения / В.В. Тур // Строительная наука и техника. – 2005. – № 1. – С. 62 – 69.
13. G. Xu, Beaudion J.J. Effect of Polycarboxylate Superplasticizer on Contribution of Internal Transition Zone of Electrical Conductivity of Portland Cement Mortar // ACI Material Journal. – 2000. –V. 97, № 4. – P. 418 – 424.
14. Калиновская, Н.Н. Технологические свойства, прочность и эффективное применение бетона, модифицированного гиперпластификатором ГП-1 / Н.Н. Калиновская // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5. – С. 74 – 83.
15. СТБ 2101-2010. Бетоны напрягающие. Технические условия. – Минск: Минскройстройархитектуры РБ, 2010. – 19 с.
16. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 41 с.
17. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 7 с.
18. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия: СТБ 1544-2005. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2005. – 17 с.
19. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции») / НИИЖБ Госстроя СССР и ЦНИИпромзданий Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 64 с.
20. Цемент напрягающий. Технические условияСТБ 1335-2002. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2002. – 11 с.

УДК 621.762; 691.002 (032)

ВЯЗКОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО МНОГОСЛОЙНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Хрусталев Б.М., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф.
Леонович С.Н., д-р техн. наук, проф.
(БНТУ, г. Минск)
Эберхардштайнер Й., д-р техн. наук, проф.,
(Институт механики материалов и конструкций,
Венский технический университет, Австрия)
Яковлев Г.И., д-р техн. наук, проф.;
Первушин Г.Н., д-р техн. наук, проф.
(Ижевский технический университет, Россия)

FRACTURE TOUGHNESS OF CONCRETE, MODIFIED BY MULTILAYER NANOTUBES

Experimental research results of the stress intensity factor at normal separation, K_{IC}, and cross-section shift, K_{IIC}, respectively, of high-strength concrete are presented. Research on the specific power changing inputs on quasi-static destruction is carried out.

The compact structure on the basis of the Portland cement modified with carbon nanodispersed systems has been studied. Carbon nanotubes Graphistrength by «Arkema» dispersed into the hydrodynamic plant in the solution of surface-active agent (SAA) Polyplast SP-1 are used as modifying additives. An increase of the cross-breaking strength of a fine grain concrete up to 45,1% and of the compressing strength up to 96,8 % was observed. The increase of concrete strength is related to morphological changes of new crystalline hydrate formations providing a less defective structure of cement matrix with high density.

1. Introduction

Problems of carbon nanotubes dispersion during modification of cement pastes. When developing cement pastes with improved mechanical characteristics, application of carbon nanodispersed systems [1; 2] are very efficient. The introduction of carbon nanosystems into mineral binding matrix composition is established [3 – 5] in order to result in micro-structures with forming new crystalline hydrate formations of higher density and strength.

The main purpose of this work is to establish an opportunity of dense cement concrete structure modification by means of multilayer carbon nanotubes

Graphistrength by "Arkema" as a nanodispersed additive and to evaluate their influence on the modified cement matrix structure.

According to the technical literature [6; 7], the modification with carbon nanotubes results in an improvement of 15 – 20 % of the mechanical characteristics of cement concretes. At the same time the mineral matrices are able to increase their strength up to 2 – 3 times [8] after introduction of carbon nanosystems into the composition of the binder in the amount of 0,0024 % of the binder mass, as it is shown by several investigations. According to [9; 10] carbon nanotubes are able to change the matrix microstructure "due to increased content of calcium hydrosilicates of high density and decreased nanoporosity".

The main reason for contradictions of results obtained by different investigators is an insufficient extent of carbon nanotubes dispergation because they originally become granules due to superactivity during their synthesis. In this context the proper use of suitable equipment in ethanol medium for carbon nanotubes dispergation, as mentioned in [11] is of great importance. Li et al. [12] implemented ultrasonic treatment of multimural carbon nanotubes in the solution of sulfuric and nitric to provide better bond between cement matrix. In [13] polyacrilic acids and ultrasound was used to achieve homogeneous dispersion of multimural carbon nanotubes in water solution. In general, the open literature reports on an (insignificant) increase of the mechanical strength of cement matrix modified with carbon nanotubes.

The main reason of insufficient influence of nanosystems on the structure and properties of modified cement matrix is incomplete dispergation of nanotubes. During synthesis they generate bells or granules up to a size of 400 – 900 μm with high surface energy. At the same time nanoparticles hardly disperse into single nanostructures in water dispersive media and they require special technologies for their dispergation. The main goal when working with carbon nanotubes is to disintegrate bundles and large agglomerates arising during synthesis and to provide their stabilization in water suspension and steadiness of these nanotubes suspensions in storage.

To stabilize suspensions with nanostructures different surface-active agents (surfactants) [14] are used. Their molecules are adsorbed on the solid-liquid phase boundary surrounding separate nanotubes and their bundles [15; 16].

There are two ways of the process of synthesized nanoparticles dispergation i.e. obtaining particles with synthesized or ligand particles for material. In the first case there is an opportunity of surface modification of nanoparticles, e.g. substitution of ligands. And in the second case operations are performed with nanomaterial where collective properties of nanoparticles are of special importance. Hydrodynamic cavitation is the most optimal way of carbon nanotubes disperga-

tion. Hydrodynamic cavitation has been used for about 50 years in industry. Although ultrasonic cavitation is widely used for intensification of technological processes, it requires higher energy expenditure in ultrasonic transmitters than in hydrodynamic cavitation devices. Due to this fact hydrodynamic devices are more prospective to be used for liquid medium cavitational treatment where interacting liquid flows produce cavitation. In general, the energy expenditure of hydrodynamic cavitation is 10 – 15 times less compared to ultrasonic cavitation.

Multilayer carbon nanotubes Graphistrength by "Arkema" consisting of layers of nanotubes with an outer diameter of 10 to 15 μm and an average density of 50 – 150 kg/m^3 were dispersed.

After the dispergation of the carbon nanosystems in the hydrodynamic device, carbon nanosystems with an effective diameter of 168,3 nm and with the a minimum diameter of 73,3 nm were obtained.

Sedimentation processes in suspensions are unavoidable due to the different densities of dispersion medium and discontinuous phase. In course of time, solid phase particles aggregate and precipitate. After 30 days storage the effective diameter of the nanosystems was 403,7 nm due to coagulation. However, sedimentation is a reversible process and the suspension can be dispergated again. The investigation of carbon nanotubes microstructure dispersions conformed polydispersity of carbon nanostructures in surfactant Polyplast SP-1 medium.

Coagulation of nanostructures with formation of large agglomerates takes place after one month storage of the dispersions. At the same time separate nanotubes were observed.

2. Materials and research methods

Samples for mechanical tests were produced in compliance with standard technique. Properties of the fine cement concrete on the Portland cement "П400-Д0" (CEM II/A-S 32.5R) and on the glass sand with fineness modulus M = 3,08 were investigated.

Carboxymethyl cellulose in combination with superplasticizing admixture Polyplast SP-1 was used as surfactants for carbon nanotubes dispergation. Sodium carboxymathyl cellulose is an anionic polymer i.e. the product of cellulose and monochloracetic acid interaction. Super plasticizing admixture Polyplast SP-1 is a mixture of sodium salts of polymethilennaphthalenesulfuric acids.

The microstructure and microanalysis of the concrete cement matrix were studied on bitmapped electronic microscopes FEI Quanta 200, XL 30 ESEM-FEG by «PHILIPS» and JSM JC 25S by «JEOL».

The analysis of nanosystem sizes in suspensions was performed on BI-MAS/plus 90 device. Total heat generation and rate of heat generation change were studied in thermos calorimeter.

Carbon nanotubes dispersion results in cement matrix structures with formation of a compact defect-free cover on the solid phase surfaces including cement and aggregate particles. This cover provides better bond with surfaces of these particles. Spatial skeleton cells in the structure of the modified cement matrix are formed due to contact interactions of the structured boundary layers. Spot contacts provide ultimately filled system where collective transition to the bond in short range order causes harsh strengthening due to spatial packing formation.

3. Testing specimens

The testing specimens were made of concrete mix from local raw materials (cement, crushed stone, sand). The size of specimens was 100×100×100 mm.

Two types of specimens where applied to investigate the stress intensity factor on normal separation and cross-section shift (fig. 1). Initiators of the crack were made after cooling to ambient temperatures by means of a saw after full preheating.

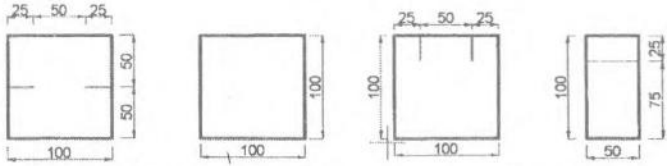


Fig. 1. Testing specimens

4. The definition method of stress intensity factor on normal separation and cross-section shift

Regularity of crack resistance is investigated by fracture mechanical methods. In this work the so-called nonequilibrium test is accepted as the basic method to experimentally determine crack resistance and toughness of destruction [17 – 22].

The nonequilibrium test is characterized by loosing the deformation stability of the specimen at the localization moment of deformation up to maximum loading with dynamic activating of crack.

The crack resistance characteristics are applied to:

- compare different concrete mixes, and the technological process of manufacturing and concrete quality control;
- assessments of concretes enabling a reasonable selection for construction;
- structural calculations with taking into account defects and application conditions;
- cause studies of structure destructions.

Type 'a' specimen cubes with two initial cracks were used for determining K_{IC}. The tests were performed under the scheme of central compression on a press by means of two supports made of metal bars (fig.2a, 2b). The cube destruction occurs unstably within a plane of a moving crack between the two oppositely cuts.

The value of K_{IC} was determined according to the following equation:

$$K_{IC} = \frac{P}{Bd^{1/2}}\left[18{,}3\left(\frac{a}{d}\right)^{1/2} - 430\left(\frac{a}{d}\right)^{3/2} + 3445\left(\frac{a}{d}\right)^{5/2} - 11076\left(\frac{a}{d}\right)^{7/2} + 12967\left(\frac{a}{d}\right)^{9/2}\right], \quad (1)$$

where P – the load, destroying the specimen, in MN; B – the thickness of the specimen; d – height or width of the specimen; a – depth of a cut (all dimensions in meter).

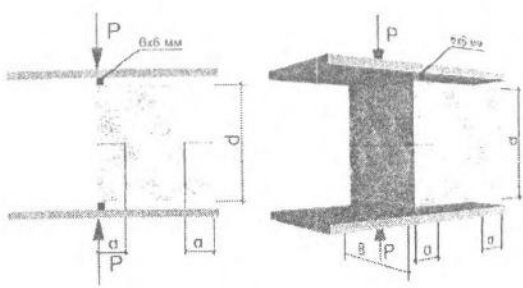


Fig. 2*a*. Scheme of test specimens of type 'a'

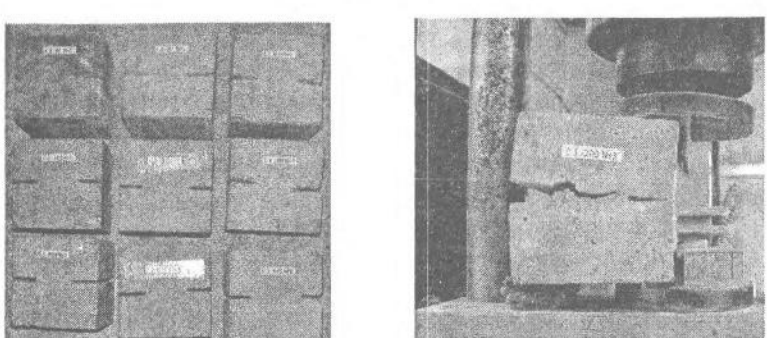


Fig. 2*b*. Specimens before and after K_{IC} tests

The crack resistance on cross-section shift was determined in tests with type 'b' specimens by means of a loaded plate between the two parallel cuttings (fig. 3*a*, 3*b*). The big advantage of this test is that the type 'b' specimen can be gained from the already tested type 'a' specimen (the same cube). Thus, the factor of normal separation K_{IC} and cross-section shift K_{IIC} were defined on one and the same concrete fragment.

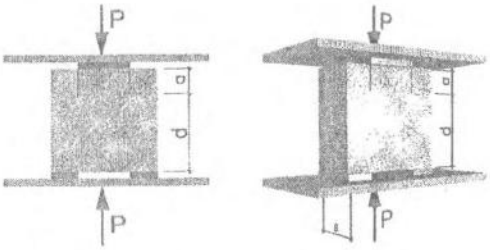


Fig. 3*a*. Scheme of test specimens of type 'b'

The stress intensity factor on cross-section shift was determined according to the following equation:

$$K_{IIC} = \frac{P}{2 \cdot a \cdot B} \sqrt{l \cdot Y(l,b)}, \qquad (2)$$

where P – the load, destroying the specimen, in MH; $Y(l,b)$ – correction index = 0.97; B – width of the specimen; a – depth of a cut (all dimensions in meter).

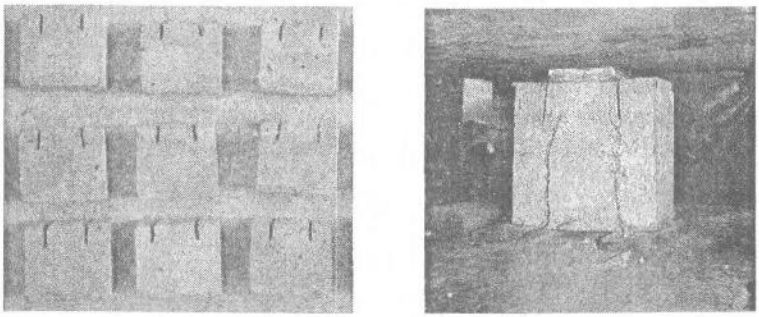


Fig. 3b. Specimens before and after K_{IIC} tests

5. Experimental data K_{IC}, K_{IIC}, E, G_{IC}

Table 1

Experimental data of concrete cube tests on fracture toughness. Determination of stress intensity factor at normal separation K_{IC}

Samples	Date of fabrication	Date of test	Mass of sample, g	Size of ample, cm	Ultimate load P, kN	Average value of load P, kN	K_{IC_φ}, MN·m$^{-3/2}$	Specific energy of quasi-static destruction $G_K = K_{IC}^2/E^*$, N/m
K-2	08.08.2011	06.09.2011	2390	10 × 10 × 10	9,87	10,64	0,623	11,25
K-3			2410	10 × 10 × 10	9,70			
K-4			2406	10 × 10,1 × 10	12,34			
B-2			2402	10 × 10 × 10	8,49	10,08	0,59	10,09
B-3			2386	10 × 10 × 10	9,18			
B-4			2384	10 × 10 × 10	12,56			
2F-2			2388	10 × 10 × 10,1	6,47	8,99	0,526	8,02
2F-3			2396	10 × 10 × 10	11,74			
2F-4			2402	10 × 10 × 10	8,76			
K-1	09.08.2011	06.09.2011	2422	10 × 10 × 10,1	11,16	**10,52**	0,616	10,99
K-3			2410	10 × 10 × 10	6,73			
K-4			2418	10 × 10 × 10	13,67			
O-1			2414	10 × 10 × 10	10,17	9,54	0,558	9,03
O-3			2416	10 × 10 × 10,1	8,85			
O-4			2406	10 × 10 × 10	9,61			
IO-1			2398	10 × 10 × 10	11,67	**11,20**	0,656	12,47
IO-2			2396	10 × 10,1 × 10	10,38			
IO-3			2423	10 × 10 × 10	11,54			

The stiffness properties of the investigated concrete were determined using ultrasonic measurements. Knowing the path length, the measured travel time (t) can be used to calculate the complex modulus of elasticity (E) as follows:

$$c_l = \sqrt{\frac{E \cdot (1-\nu)}{\rho \cdot (1+\nu) \cdot (1-2\nu)}}, \tag{3}$$

where: c_l – ultrasonic pulse velocity; ν – Poisson's ratio; E – complex modulus of elasticity; ρ – density of concrete specimens.

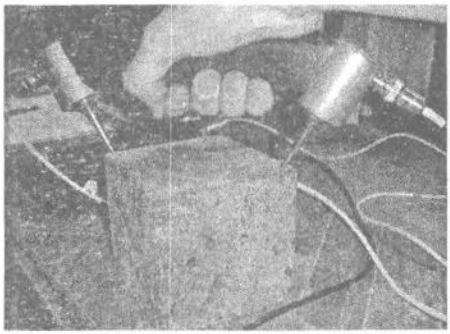


Fig. 4. Ultrasonic pulse velocity method

Consideration of the elastic deformation of concrete enables to define the specific energy of quasi-static destruction (G_i) through the quasi-static stress intensity factor:

$$K_i = \sqrt{G_i \cdot E_b} . \quad (4)$$

Table 2

Experimental data of concrete cube tests on fracture toughness. Determination of stress intensity factor at cross-section shift K_{IIC}

Samples	Date of fabrication	Date of tests	Ultimate load P, kN	Average value of load P, kN	$K_{IIC_{cr}}$, MN·m$^{-3/2}$
1	2	3	4	5	6
K-2(1)	08.08.2011	07.09.2011	73,92	75,48	4,7
K-2(2)			72,11		
K-3(1)			55,23		
K-4(1)			77,81		
K-4(2)			78,06		
B-2(1)			85,32	92,45	5,75
B-2(2)			96,32		
B-3(1)			100,90		
B-3(2)			83,55		
B-4(1)			87,25		
2F-2(1)			76,12	83,93	5,22
2F-2(2)			86,51		
2F-3(1)			83,99		
2F-3(2)			83,44		
2F-4(1)			89,61		
2F-4(2)			64,65		

1	2	3	4	5	6
K-1(1)	08.08.2011	07.09.2011	87,40	88,83	5,532
K-1(2)			87,44		
K-3(1)			95,36		
K-3(2)			75,94		
K-4(1)			93,60		
K-4(2)			80,37		
O-1(1)			85,21	93,94	5,851
O-1(2)			97,60		
O-3(1)			93,36		
O-3(2)			82,83		
O-4(1)			98,58		
O-4(2)			94,95		
Ю-1(1)	08.08.2011	07.09.2011	102,2	98,55	6,1377
Ю-2(1)			100,7		
Ю-2(2)			92,58		
Ю-3(1)			98,72		
Ю-3(2)			88,73		

Table 3

Experimental data of concrete cube tests on fracture toughness. Determination of K_{IC} and K_{IIC}

Samples	Ultimate load (scheme 1), kN	$K_{IC_{cr}}$, MN·m$^{-3/2}$	Ultimate load (scheme 2), kN	$K_{IIC_{cr}}$, MN·m$^{-3/2}$
K-1	9,13	0,534	29,0 45,38	2,826
K-2	6,89	0,403	–	–
K-3	5,93	0,347	44,51 41,70	2,772 2,597
K-4	7,53	0,441	43,40 49,36	2,702 3,075
O-2	7,55	0,442	57,39 53,89	3,574 3,356
O-3	5,70	0,334	48,45 48,08	3,017 2,994
O-4	7,44	0,435	57,59 59,36	3,586 3,697
O-2*	0	–	43,20 40,35	2,69 2,513

6. Conclusions

The presented results allow to conclude, that the method of nonequilibrium tests of cubes with initiated cuts delivers a quite adequate picture of the crack resistance and toughness of destruction of usual and high-strength concrete. From non-destructive stiffness tests using ultrasonic pulse velocity measurements, the value of the complex modulus of elasticity was determined.

The experimental results of the stress intensity factors K_{IC} and K_{IIC} allow to analyze cracking and concrete destruction, and to develop new high strength ma-

terials and to perfect designing. Based on own experimental results the energy of quasi-static destruction G_f were measured in addition.

Cement concretes modified with multilayer carbon nanotubes change its morphology of crystalline hydrates with formation of the contact zones of increased density of the aggregate surface according to microstructural analysis of new formations. Such structures increase the strength resistance of the concrete, which is proved by results of physical and mechanical tests of the concrete modified with carbon nanotubes.

References

1. Staroverov, V.D. Structure and properties of nanomodified cement brick. Author's abstract. Act. PhD in Technical Science / V.D. Staroverov. – SPb., 2009. – P. 19.
2. Lipanov, A.M. Production of carbon metal containing nanostructures for constructions modification / A.M. Lipanov [and others] // Alternative energetic and ecology. – 2008. – No. 8 (64). – P. 82 – 85.
3. Yakovlev, G. Nanobewehrung von Schaumbeton / G. Yakovlev [and others] // Beton- und Stahlbetonbau. – 2007. – Vol. 102. – Is. 2. – P. 120 – 124.
4. Yakovlev, G.I. Aeroconcrete on the basis of fluoranhydrite modified carbon nanotubes / G.I. Yakovlev [and others] // Construction materials. – 2008. – No. 3. – P. 70 – 72.
5. Yakovlev, G.I. Modification of porous cement matrixes with carbon nanotubes / G.I. Yakovlev [and others] // Construction materials. – 2009. – No. 3. – P. 99 – 102.
6. Konsta-Gdoutos, M.S. Highly Dispersed Carbon Nanotube Reinforced Cement Based Materials. Cement and Concrete Research / M.S. Konsta-Gdoutos, Z.S. Metaxa, S.P. Shah. – 2010. – Vol. 40 (7). – P. 1052 – 1059.
7. Li, G.Y. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes. Carbon / G.Y. Li, P.M. Wang, X. Zhao. – 2005. – № 43. – P. 1239 – 1245.
8. Maeva, I.S. Structuring of anhydrite matrices with nanodisperse modifying additive / I.S. Maeva [and others] // Construction materials. – 2009. – No. 6. – P. 4 – 5.
9. Shah, S.P. Nanoscale Modification of Cementitious Materials / S.P. Shah: Proceedings of the Third International Symposium on Nanotechnology on construction, Springer, 2009. – P. 125 – 130.
10. Konsta-Gdoutos, M.S. Nanoimaging of highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials / M.S. Konsta-Gdoutos, Z.S. Metaxa, S.P. Shah: materials of the Seventh International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete: Design and Applications, Chennai, India, 2008. – P. 125 – 131.
11. Makar, J.M. Carbon nanotubes and their applications in the construction industry / J.M. Makar, J.J. Beaudoin: Proceeding of the 1st International Symposium on Nanotechnology in Construction, 2004. – P. 331 – 341.

12. Li, G.Y. Pressure-sensitive and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites. Cement and Concrete Research / G.Y. Li, P.M. Wang, X. Zhao. – Vol. 29 (5). – 2007. – P. 377 – 382.
13. Cwirzen, A. Surface decoration of carbon nanotubes and mexhanical properties of cement/carbon nanotube composites. Adv. Cem. Res. / A. Cwirzen, K. Hamermehl-Chirzen, V. Penttala. – 2008. – Vol. 20. – P. 65 – 73.
14. Holmberg, K. Surface-active agents and polymers in full solutions / K. Holmberg. – M.: BINOM. Knowledge laboratory, 2009. – P. 528.
15. Tadros, T.F. Applied surfactants: principles and applications / T.F. Tadros. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2005. – 654 p.
16. Rasaiah, J.C. Statistical mechanics of strongly interacting systems: liquids and solids / J.C. Rasaiah // Encyclopedia of chemical physics and physical chemistry. – Vol. 1: Fundamentals. – Bristol: Institute of Physics, 2001. – P. 379 – 476.
17. Bazant, Z.P. Concrete at high temperatures / Z.P. Bazant, M.F. Kaplan. – England: Longman Group, 1996.
18. Principles and justification, determination methods of fire resistance of structures: ISO/TO 10158:1991 /E/. – M.: NIKI Energy, 1991. – 52 p.
19. Riley, M.A. Assessing fire-damaged concrete / M.A. Riley // Concr. Int.: Desw. and Constr. – 1991. – № 6. – P. 60 – 63.
20. Zhukov, V.V. Fire resistance of reinforced-concrete structures / V.V. Zhukov. – Kiev: Builder, 1991. – 218 p.
21. Snezhkov, D.Y. Non-destructive concrete control in monolith building: monograph / D.Y. Snezhkov, S.N. Leonovich. – Minsk: BNTU, 2006. – 220 p.
22. The Concrete Centre: Concrete and Fire. – Surrey: The Concrete Centre, 2004.

УДК 624.01

Кузнецова Е.П., Молодежкина Е.И.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МНОГОФУНЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕМОНТНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ПРЕДПРИЯТИИ ОАО «НАФТАН» ГОРОДА НОВОПОЛОЦКА

Одной из важнейших промышленных отраслей в Республике Беларусь является нефтеперерабатывающая отрасль. ОАО «Нафтан» является не только городообразующим предприятием города Новополоцка, но и одним из крупнейших заводов Европы в этой отрасли.

Постоянное внедрение новейших технологических процессов, увеличение объёмов первичной переработки нефти и ассортимента нефтепродуктов, модернизация и усовершенствование действующих установок по-

зволяет улучшать технико-экономические показатели и качество выпускаемой продукции, которая с каждым годом становится всё более конкурентоспособной на мировом рынке углеводородов.

Со времени пуска первой очереди предприятия в 1963 года прошло 49 лет и за эти почти пять десятилетий установки, объекты и трубопроводы завода неоднократно подвергались капитальному или косметическому ремонту. Современные научные разработки отечественных и зарубежных компаний позволяют продлевать долговечность и сроки эксплуатации объектов.

Активное сотрудничество с российскими компаниями позволяет приобретать и широко применять новейшие материалы, используемые для долговременной защиты технологических объектов.

При проведении ремонтно-строительных работ на объектах и установках комплекса в силу особенностей технологии переработки нефти особенно актуальной является обработка металлических поверхностей всевозможными защитными покрытиями. Примером такого покрытия являются 2-компонентные эпоксидные составы без растворителя Amercoat, сочетающее в себе химическую и механическую стойкость и обеспечивающее высочайшую степень антикоррозионной защиты.

Одним из видов этих материалов являются покрытия Amercoat-236, Amercoat 184C, Amercoat 391PC.

Amercoat-236 – это многофункциональное эпоксидное покрытие, самогрунтующийся экономичный продукт, имеющий высокие адгезионные свойства для бетона, нержавеющей стали, алюминия, окрашенных поверхностей. Он применяется для нанесения на наружные поверхности резервуаров, конструкционную сталь и трубы на химических и нефтеперерабатывающих заводах, на сооружениях, подвергающихся воздействию жестких атмосферных условий, воды, агрессивных химических сред.

Amercoat 184C – трёхслойное полиамидное покрытие с высоким сухим остатком, обладает хорошей адгезией к непокрытой стали, грунтованной стали и неорганическим цинк-силикатным покрытиям. Препарат может наноситься распылением для образования гладкой быстросохнущей и прочной плёнки. Amercoat 184C устойчив к воздействию щелочей, кислот, соляных растворов и растворителей.

Amercoat 391PC используется также как наружное покрытие для подземных резервуаров хранения газа. Высокая устойчивость к истиранию позволяет применять Amercoat 391PC как внутреннее покрытие ёмкостей для перевозки жидкого цемента или как покрытие для бетона, подверженного агрессивному воздействию [1].

Используемый как внутреннее покрытие, Amercoat 391PC обладает исключительной стойкостью к нефтям, топливам, промышленным и сточным водам. Как поверхностное покрытие, он высокостоек к ударам и истиранию.

В отличие от Amercoat 236 и 391PC, Amercoat 184C является твёрдофазным материалом, это – электропроводящая эпоксидная грунтовка для поверхностей резервуаров.

Материал стоек к воздействию воды и топлива при эксплуатации в условиях погружения, обладает высокими защитными свойствами, стоек к истиранию, легко чистится. Он подходит для выполнения токопроводящих покрытий резервуаров таких углеводородов, как жидкое топливо и нефть. Amercoat 184C может применяться в условиях шефской и промышленной среды, для наземных резервуаров, автомобильных и железнодорожных цистерн. Amercoat 184C является отличным защитным покрытием, обеспечивающим длительную защиту от коррозии при эксплуатации и работе оборудования и его частей в условиях агрессивных сред.

Конструкции, обработанные составом Amercoat (наружные поверхности стен, кровли, вертикальные лестницы и площадки резервуара для бензина ёмкостью 10000 куб. м в парке хранения ДТ и бензина цеха № 8, трубопроводы пара и конденсата первой очереди резервуара № 234, технологические трубопроводы – коллекторы слива дизельного топлива и бензина, шахтные лестницы, трубопроводы, поверхности стальных вертикальных резервуаров № 132 и № 133 ёмкостью 700 куб. м, продуктовые коллекторы резервуара № 457 парка 910-72, насосная станция автоматического пожаротушения – объект 910-170, неизолированные трубопроводы для перекачки пара, всё это и многие другие объекты, установки, их узлы и отдельные детали соединений и стыков) в результате постоянного технологического контроля в процессе эксплуатации подтвердили своё высокое качество и надежность, и их применение на объектах ОАО «Нафтан» создаёт предпосылки более широкого применения при производстве ремонтно-строительных и профилактических работ на объектах предприятия.

Литература

1. ООО «ПРОМАТЕх» [Электронный ресурс] / Amercoat 391PC. – Режим доступа: http:// www promateh.ru. – Дата доступа: 19.09.2012.

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

УДК 624.1+624.131

Пойта П.С., д-р техн. наук, проф.; Клебанюк Д.Н.;
Шведовский П.В., канд. техн. наук, проф.
(БрГТУ, г. Брест)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ПРИ УПЛОТНЕНИИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ

Исследования, выполненные различными авторами [1 – 5], показывают, что наиболее целесообразно при уплотнении грунтовых оснований применение тяжелых трамбовок, обеспечивающих значительно большую остаточную осадку грунта в отпечатке при одних и тех же энергетических затратах (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость величины остаточной осадки от массы трамбовки [3 – 5]

Масса трамбовки, т	1		1,5	2		2,5		3	4
Число ударов	6	12	4	6	3	2	3	4	3
Затраченная работа, т·м	12	15,4	12	15,4	12	10	15	15,4	15,4
Остаточная осадка, см	15,8	4,7	18,5	7,7	19,5	18,2	22	10,2	12,4

При этом отмечено, что увеличение массы трамбовки не только обеспечивает большую осадку, но и дает более равномерное распределение плотности сухого грунта по глубине уплотняемой толщи.

Не менее важен и тот факт, что достижение грунтом требуемой плотности возможно лишь при определенном числе ударов в одной точке, зависящем от статического давления на грунт, т.е. соотношения массы трамбовки и площади ее основания.

Нормативными документами [6] проектирование уплотняемых грунтовых оснований рекомендуется осуществлять на основании связи между динамической и статической осадкой (нагрузкой) трамбовки:

$$S = k_g \cdot S_{st}, \qquad (1)$$

где k_g – коэффициент динамичности при интенсивных ударах и

$$k_g = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{S_{st}}}, \qquad (2)$$

H – высота сбрасывания трамбовки, м; S_{st} – осадка трамбовки от действия статической нагрузки (P_{st}), определяемая согласно [6] – при определении динамической нагрузки (P) и по зависимости (3) – при определении осадки, диаметра трамбовки и глубины зоны уплотнения:

$$S_{st} = (1 - \nu^2) \cdot \omega \cdot d_{mp} \cdot (P/E); \qquad (3)$$

υ – коэффициент поперечной деформации грунтов; ω – безразмерный коэффициент и ω=0,785; E – модуль деформации до уплотнения, кПа; d_{mp} – диаметр трамбовки, м; P – давление на грунт, кПа.

Однако в этих предложениях принято, что величина υ постоянна и не зависит от напряженного состояния грунтового массива. Исследования [4; 6] и другие свидетельствуют, что эта величина переменна, а принятое в инженерной практике ее постоянство обусловлено только желанием не усложнять расчеты.

На рисунке 1 приведены эпюры распределения вертикальных напряжений для различных величин υ при одних и тех же технологических и инженерно-геологических условиях: пески мелкие маловлажные; плотность грунта до начала уплотнения – 15,0, после – 17,7 кН/м^3; диаметр трамбовки – 0,7 м; давление на грунт по плоскости подошвы трамбовки – 25 кПа. При этом принято, что действие статической нагрузки на грунт от массы трамбовки соответствует в полной мере условиям штамповых испытаний.

Анализ изолиний напряжений (σ_z/P) % в грунтовом массиве по глубине (h/d_{mp}) и в зоне влияния (l/d_{mp}) показывает, что даже под центром трамбовки на глубине $h/d_{mp} = 1$ напряжения отличаются в два раза: соответственно $\sigma_{\nu=0.17} = 0.5P$ и $\sigma_{\nu=0.25} = 0.95P$.

Напряжения от вертикальной нагрузки, равномерно распределенной по площади круга, согласно [6] может определяться по зависимости:

$$\frac{\sigma_z}{P} = 1 - \exp\left(-\frac{d_{mp}}{8\nu z^2}\right), \qquad (4)$$

а в случае, если подошва трамбовки не круглая, приняв, что вертикальная нагрузка распределяется по закону параболы, зависимость будет иметь вид:

$$\frac{\sigma_z}{P} = 1 - \frac{8\nu z^2}{d_{mp}^{\ 2}} \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{d_{mp}^{\ 2}}{8\nu z^2}\right)\right]. \qquad (5)$$

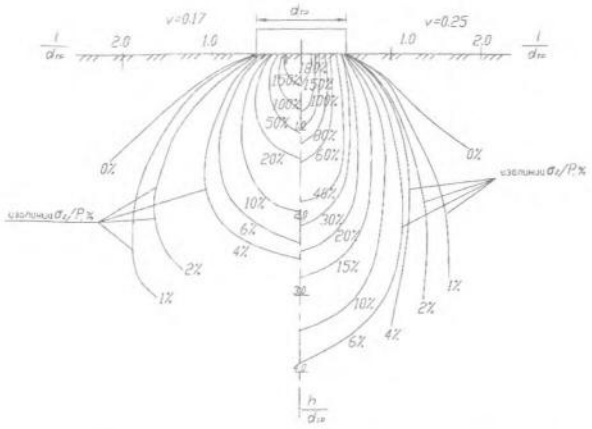


Рис. 1. Эпюры распределения вертикальных напряжений для различных величин υ

Из уравнения (4) соответственно имеем:

$$\exp(-\frac{d_{mp}}{8\nu z^2}) = 1 - \frac{\sigma_z}{P}. \qquad (6)$$

Учитывая, что абсолютное большинство тяжелых трамбовок круглые, нами по имеющимся данным [1 – 6] построены графики зависимости $\sigma_z = f(d_{mp})$ и $\sigma_z = \varphi(h, P)$, анализ которых позволяет отметить как наличие характерных связей напряжений по глубине, диаметра трамбовки и нагрузки на массив (массы трамбовки), так и близость значений σ_z, определенных полевыми испытаниями и теоретическими расчетами, при этом максимальное упрочняющее изменение структуры грунтов уплотняемого основания наиболее характерно для зоны $h/d_{mp} \approx 0{,}5 - 1{,}0$.

Для практического использования по данным теоретических расчетов построены графики зависимости $\sigma_z/P = f(P,\ h/d_{mp})$ для основных видов грунтов – пески, суглинки, глины (рис. 2).

Не менее спорным является и величина безразмерного коэффициента ω. Вероятностный подход и вероятностные расчетные схемы структуры грунта [6] позволяют относительно полно учесть при расчетах напряженно-деформированного состояния грунтового основания (НДС) неоднородность грунта, форму и взаимный контакт частиц, неравномерность взаимной передачи статических усилий на частицы и др. через коэффициент структуры грунта α.

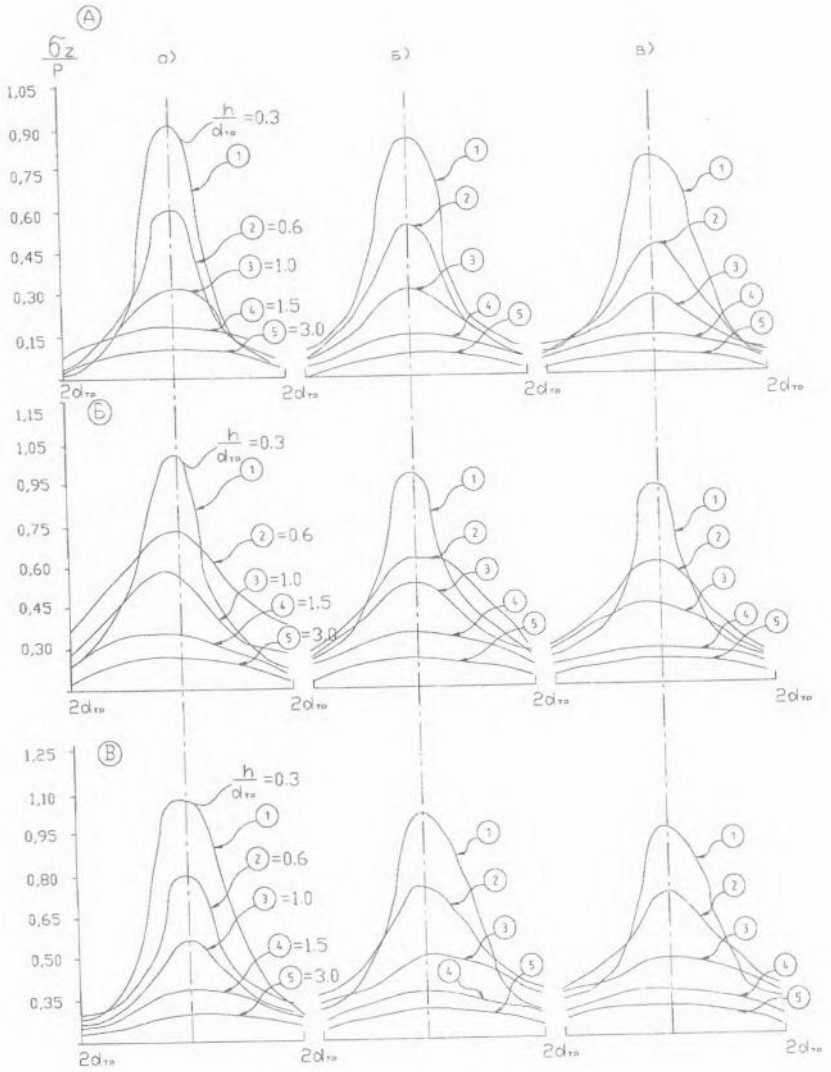


Рис. 2. Графики зависимости $\sigma_z / P = f(P,\ h/d_{mp})$ для песков (А), суглинков (Б), глин (В) при статических нагрузках:
а – (> 50 кПа); *б* – (25 – 50 кПа); *в* – (20 – 25 кПа)

Коэффициент структуры грунта

$$\alpha = \frac{4ak^2}{b^2}, \tag{7}$$

где a и b – средние размеры частиц; k – коэффициент неравномерности передачи усилий на частицы и

$$k = \frac{P_0}{P \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi n}}}; \tag{8}$$

P_0 и P – соответственно нагрузка на частицу по поверхности линии загружения и общая нагрузка на массив от трамбовки; n – количество контактных частиц.

В результате соответствующих преобразований, с учетом результатов имеющихся лабораторных и полевых исследований штамповых испытаний [6], для $d_{mp} = 1$ м, расчетные зависимости принимают вид:

$$\alpha = \frac{8k^2 \cdot d_{30}}{C_c^2}; \; k = \frac{\pi \cdot d_{mp}}{2\sqrt{2 \cdot C_u}}, \tag{9}$$

где C_c – коэффициент формы гранулометрической кривой и $C_c = d_{30}^2/(d_{60} \cdot d_{10})$; C_u – мера формы гранулометрической кривой и $C_u = d_{60}/d_{10}$; d_{60}, d_{30}, d_{10} – соответственно диаметры частиц, процентное содержание которых в грунте менее 60, 30, 10 %.

Величину значения ω при $d_{mp} > 1м$ рекомендуется определять по графику $\omega = f(\alpha_{mp})$ (рис. 3), если $0.74 \geq \alpha \geq 0.81$.

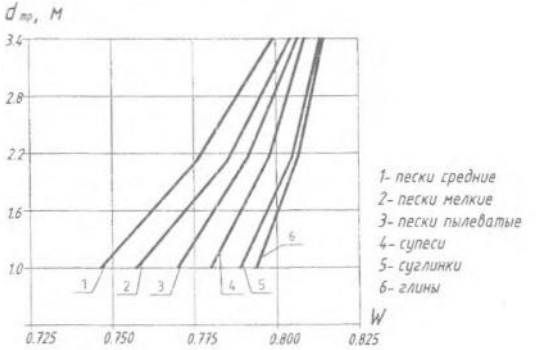


Рис. 3. График связи $\omega = f(d_{mp})$

Рассмотрим предложенную методику определения ν и ω на конкретном примере из Приложения А [7]: пески средние, рыхлые; $\rho = 1.7$ г/см^3; $\omega = 14\%$; $E = 3000$ кПа; $P = 100$ кН; $d_{mp} = 1.3$ м; $\rho_d = 1.49$ г/см^3. Кривая гранулометрического состава приведена на рисунке 4.

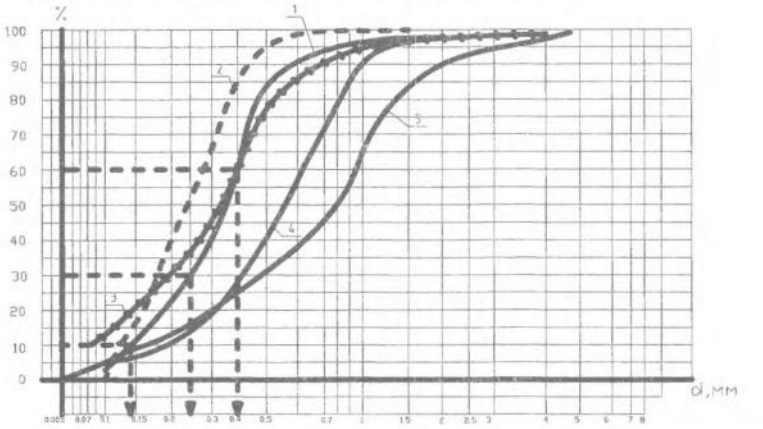


Рис. 4. Кривая гранулометрического состава грунтов на экспериментальных объектах:
1 – пески средние, средней прочности; 2 – пески мелкие, средней прочности;
3 – песчаные насыпные; 4 – песчаные намывные; 5 – песчаные крупные, средней прочности

Имеем: $d_{10} = 0.14$ мм; $d_{30} = 0.25$ мм; $d_{60} = 0{,}37$ мм.

По зависимости (9) – $C_u = 2.64$; $C_c = 1.11$; $k = 0.68$; $\alpha = 0.74$.

Так как $\alpha = 0.74$, то ω принимаем равным 0.74. По графикам $\sigma_z / P = f(P,\ h/d_{mp})$ (см. рис. 2 А(а)) $\sigma_z / P = 0.61$.

Согласно зависимости (6) имеем:

$$\exp(-\frac{1.0}{8 \cdot \nu \cdot 0.5}) = 1 - 0.61 = 0.39$$

откуда $\nu = 0.27$.

Тогда

$$d_{mp} = \frac{2.55 \cdot 100 \cdot 8 \cdot (1 - 0.27) \cdot 0.74}{\frac{16.5 - 14.9}{16.5} \cdot 3 \cdot 3000} = 1.22\,\text{м}.$$

Принятый диаметр трамбовки $d_{mp} = 1.3$ м можно и оставить, но оптимальную деформативность и прочность оснований обеспечила бы трамбовка $d_{mp} = 1.2$ м.

Для четырех экспериментальных объектов по предложенной методике были определены оптимальные конструктивные параметры тяжелых трамбовок (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительный анализ методик (существующей и предложенной) по расчету конструктивных параметров трамбовок

Объект	Вид грунта	Расчетные параметры					Параметры трамбовки					
		k	C_c	C_u	α	ν	по [7]			по данным авторов		
							V	ω	$d_{тр}$, м	V	ω	$d_{тр}$, м
1	Пески средние, средней прочности	0,68	1,11	2,64	0,74	0,28	0,3	0,79	1,29	0,28	0,74	1,21
2	Пески мелкие, средней прочности	0,76	1,04	2,16	0,77	0,27	0,3	0,79	1,29	0,27	0,77	1,38
3	Пески насыпные	0,51	1,25	5,01	0,53	0,26	0,3	0,79	1,29	0,26	0,75	1,47
4	Пески намывные	0,63	1,22	3,15	0,82	0,31	0,3	0,79	1,29	0,31	0,82	1,47

Выводы. Сравнительный анализ расчетов $d_{тр}$ позволяет отметить результативность предложенной методики.

Литература

1. Гарицелов, М.Ю. Интенсивное ударное уплотнение насыпи из тугопластичных грунтов при строительстве ГАЭС / М.Ю. Гарицелов, А.И. Юдкевич, М.С. Петров // Энергетическое строительство. – 1986. – № 6. – С. 15 – 19.
2. Ляпов, Г.М. Определение динамической сжимаемости грунтов / Г.М. Ляпов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1966. – № 3. – С. 27 – 29.
3. Швец, В.Б. Уплотнение грунтов оснований тяжелыми трамбовками / В.Б. Швец. – М.: Росстройиздат, 1958 – 162 с.
4. Вуцель, В.И. Интенсивное динамическое уплотнение грунтов / В.И. Вуцель, Ю.К. Зарецкий, М.Ю. Гарицелов // Энергетическое строительство за рубежом. – 1983 – № 4. – С. 39 – 41.

5. Пойта, П.С. Оптимизация технологических параметров уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками / П.С. Пойта // Вестн. БГТУ, Строительство и архитектура. – 2003. – №1(19). – С. 109 – 110.
6. Кандауров, И. И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве / И. И. Кандауров. – Л.: Стройиздат, 1988 – 218 с.
7. Грунтовые основания уплотненные тяжелыми трамбовками:ТКП 45-5.01-107-2008(02250) / Минархстройтельства Респ. Беларусь. – Минск. – 29 с.

УДК 624.154:624.131

Никитенко М.И. д-р техн. наук, проф.;
Бойко И.Л., канд. техн. наук, доц.
(БНТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙ ОГРАЖДЕНИЙ КОТЛОВАНОВ

Рассматриваются основные конструкции ограждений котлованов и проанализированы причины возникающих аварий на разных объектах.

Подпорные стены при котлованах глубиной до 3 м часто выполняют из сборных фундаментных блоков, а глубже 3 м уголкового типа железобетонных монолитных или сборных. В котлованах глубже 7 м устойчивость ограждений при боковом распоре грунта с пригрузкой на поверхности обеспечивают посредством требуемого количества ярусов расстрелов или анкеров с уменьшением глубины защемления стен ниже дна котлована.

В котлованах Минского метрополитена и других строительных объектов вблизи от зданий и сооружений применяют разные конструкции ограждений исходя из специфики инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Наиболее распространен свайно-балочный вариант (так называемое берлинское крепление) в виде стальных двутавровых балок с забиркой из деревянных брусьев. Недостатки таких ограждений связаны с большим расходом стали для опор и древесины на забирку, а также с вредными динамическими воздействиями на окружающие строения при забивке двутавровых балок.

Ограждения котлованов в виде траншейных и свайных стен, устраиваемых методом «стена в грунте», лишены таких недостатков, причем для подземных сооружений могут выполнять также и несущие функции, а при заделке в водоупор и противофильтрационные. Проходка выработок под защитой глинистой суспензии исключает динамические воздействия, а сами работы можно выполнять вблизи от существующих строений.

Пример комбинированных конструкций ограждения с креплением преднапрягаемыми буроинъекционными анкерами приведен на рисунке 1.

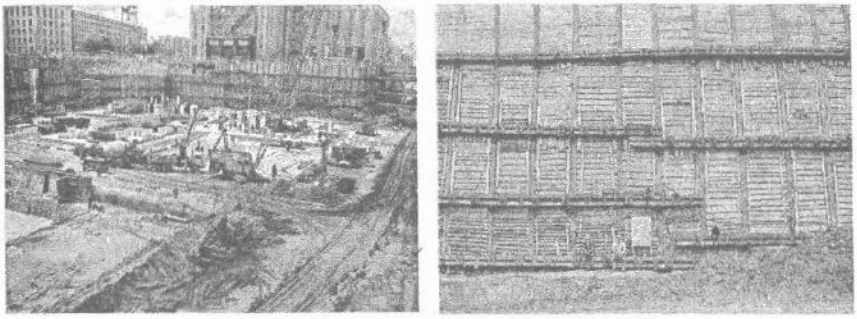


Рис. 1. Общий вид котлована для общественно-торгового Центра с парковкой на пл. Независимости в г. Минске с заанкеренными ограждающими стенами

Благодаря научному сопровождению со стороны кафедры была обеспечена устойчивость данного ограждения даже при сокращении общего количества анкеров и их ярусов разных участков.

Однако на других объектах возникали неблагоприятные ситуации, на причинах которых остановимся ниже.

Авария на котловане станции метро «Пл. Я. Коласа» в г. Минске произошла на участке между ЦУМом и универсамом «Столичный». При устройстве свайно-балочного ограждения котлована в стремлении ускорения темпов производства работ были грубо нарушены правила раскопки котлована, поэтому под напором водного потока разжиженный песок привел к обрушению дощатой забирки между двутаврами, засыпав троих рабочих, из которых только двоих удалось спасти. Возникновение потока воды здесь объясняли нарушением подземных коммуникаций. На самом деле это был постоянный поток подземной воды с сезонными колебаниями ее уровня за счет интенсивных атмосферных осадков.

Авария на котловане КДВУ возле Фрунзенского райисполкома в г. Минске. Для ограждения этого котлована применили траншейные стены, а в торцевой части со стороны Кальварийского кладбища использовано сочетание одной секции траншейной стены со свайно-балочным креплением между нею и боковыми стенами. Устойчивость боковых стен ограждения обеспечивали расстрелы из стальных труб. После раскопки котлована в его торце возник оползень с обрушением секции траншейной стены вместе со сваями-опорами из двутавровых балок и деревянной забиркой (рис. 2).

Эти балки и трубчатые расстрелы были сильно повреждены, а вагонетки внизу засыпаны грунтом. К счастью, обошлось без жертв, поскольку все рабочие ушли на обед.

На возникновение данной аварии повлияли следующие факторы:

– нарушение технологических регламентов приготовления глинистой суспензии с возникновением густого осадка на дне траншей при недостаточной глубине защемления стен ниже дна котлована;

– интенсивная откачка из котлована воды, скопившейся после длительных дождей над водоупором из глинистого грунта, создала большую разницу ее уровней вне и внутри котлована с мощным фильтрационным потоком.

Этот случай является ярким свидетельством ***недооценки особенностей грунтовых напластований и воздействия фильтрационных сил*** на грунт и ограждения котлованов. Сказались также просчеты проектировщиков со строителями при несовершенстве действовавших нормативных документов с содержавшимися в них методами расчета.

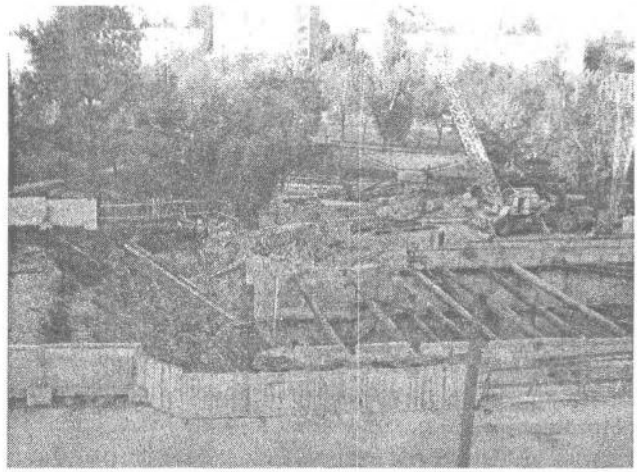


Рис. 2. Котлован КДВУ после аварии

Авария на гаражах АО «Атлант» в г. Минске. Фильтрационные силы могут воздействовать на ограждения при поступлении в грунт поверхностных стоков от обильных атмосферных осадков и за счет дефектов подземных коммуникаций. Об этом свидетельствует авария с обрушением пяти секций заанкеренной подпорной стены по пер. Ольшевского в г. Минске (рис. 3) при строительстве многоэтажного корпуса гаражей ПО «Атлант».

Эту аварию обусловили многие факторы риска, главным образом нарушение технологической дисциплины:

– несоблюдение регламентов приготовления глинистой суспензии с возникновением шлама на дне траншей не позволило забетонировать секции на всю проектную глубину и привело к недостаточному защемлению их ниже дна котлована;

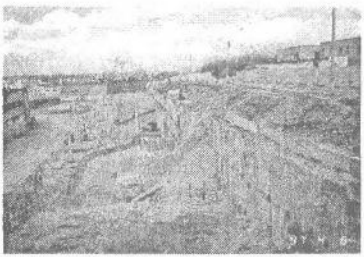
– низкое качество бетонирования стен литыми бетонными смесями безвибрационной подводной укладки в траншеи с зазорами в сопряжениях между секциями;

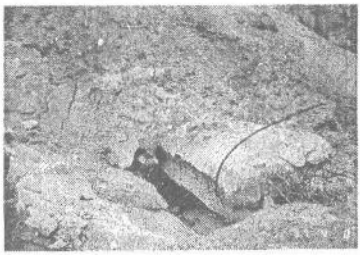
– неверный способ шнековой проходки наклонных скважин в песке без крепления обсадными трубами и несоосное расположение анкерных тяг понизу наклонных скважин с обрушением песка не обеспечили должной связи цементного камня с тягами, которые смогли легко выдернуться при натяжении отдельных анкеров;

– неуправляемая инъекция раствора при устройстве анкеров;

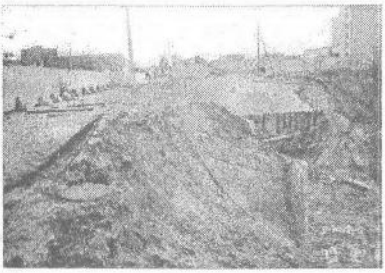
– работоспособность анкеров не подтверждена без их испытаний;

а) *б*)





в) *г*)



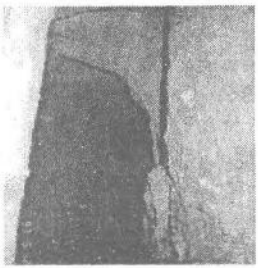


Рис. 3. Элементы подпорной стены после аварии:
а – общий вид котлована с зоной обрушения; *б* – обрушившаяся секция;
в – люк канализации возле зоны обрушения;
г) – суффозионная полость в зазоре между секциями

– дополнительное боковое давление грунта на стену вследствие невыполненной согласно проекту срезки поверхностного слоя (см. рис. 3, *а*);

– поверхностные стоки и утечки воды из смежных подземных коммуникаций по тонким глинистым пропласткам с их наклоном к стене и вдоль нее по уклону рельефа создали фильтрационный напор стены с размывом полостей возле отдельных секций (рис. 3, *г*);

– принятое ошибочное решение об увеличении глубины котлована около стены снизило ее устойчивость, несмотря на заложенный в проекте запас несущей способности буроинъекционных анкеров;

– отсутствие монолитного железобетонного пояса поверху стены привело к локальной потере устойчивости отдельных секций;

– трубчатые подкосы с упором в верхней части стен между ярусами анкеров (см. рис. 3, *а*) не компенсировали недостаточного защемления секций с погруженными в шлам арматурными каркасами.

Авария на циркуляционной насосной станции Минской ТЭЦ-5 возле Руденска произошла в виде обрушения пяти и наклона восьми секций монолитных траншейных стен, которые имели с обеих сторон практически одинаковый уровень грунта (рис. 4).

Основным фактором возникновения аварии послужил мощный напор воды, не принятый во внимание проектировщиками и строителями из-за несовершенства существующих нормативных документов, в которых расчеты не учитывали воздействие фильтрационных сил на сооружение. Неудачной была замена буроинъекционных анкеров на плитные в отрытом снаружи котловане с понижением уровня воды посредством двух ярусов иглофильтров вдоль боковых стен, а также одного их яруса в торце (рис. 4, *б*), возле которого фактически отсутствовала откачка воды из трех глубоких скважин.

Неэффективная работа иглофильтров при их погружении в слои песка и глинистого грунта привела к перегоранию единственного насоса на одной ветви коллектора возле торцевой стены с резким подъемом воды, взвешиванием и разжижением песка. Уклон водоупора по направлению к торцевой стене создал на нее опасный градиент напора подземной воды. Положение усугубил и привел к аварии открытый водоотлив во внутреннем пространстве между стенами, который чрезмерно увеличил этот поток и давление на стены.

Помимо просчетов проектировщиков и строителей сказалась ***неполнота информации об инженерно-геологическом строении*** грунтового массива [1]. В зоне обрушившихся секций при изысканиях не была выявлена промоина в морене, где еще при отрывке осаждался шлам на дне траншей с уменьшением глубины защемления секций без возможности бетонирования на всю их глубину. Наклон восьми смежных секций пример-

но до 30° возник от мгновенного взвешивания и разжижения песка, а последующая его седиментация обеспечила защемление секций стены ниже дна котлована. Наклонившиеся секции торцевой стены потянули за собой смежные возле угла и вызвали их существенные деформации (рис. 4, *в*, *г*). Эти секции затем обрушили и использовали для горизонтального армирования обратной засыпки возле вновь выполненных стен, в которой дополнительно по нашим рекомендациям применили слои из смеси песка с цементом до 10 %, что существенно снизило боковое давление грунта. В итоге всех принятых мер объем станции был уменьшен.

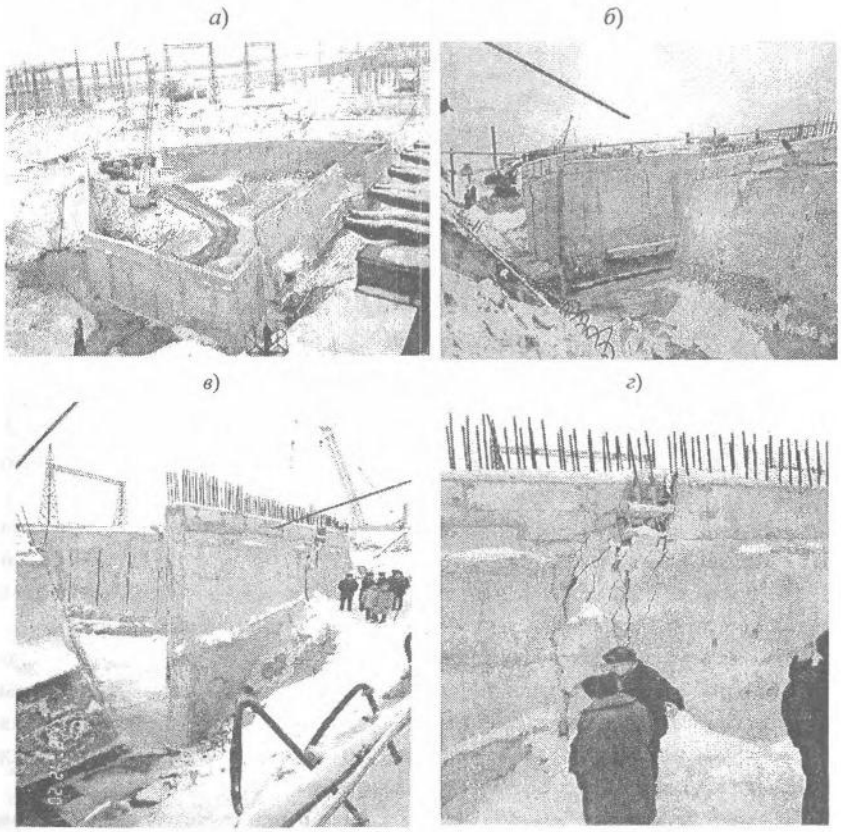


Рис. 4. Циркуляционная насосная станция после обрушения секций торцевой стены: *а* – общий вид станции после аварии; *б* – участок обрушения секций (видны иглофильтры); *в* – торцевая стена в угловой части; *г* – фрагмент зоны деформации на стыке секций

Аварийное состояние в конструкциях театра Я. Купалы возникло при возведении на расстоянии 1 м от его угла свайной стены в составе ограждения котлована для станции метро «Купаловская» (рис. 5).

Основными факторами неоправданного риска явились динамические воздействия при проходке скважин ударно-канатным станком с опережающей выемкой грунта из забоя, а также суффозионное разупрочнение грунта под подошвами фундаментов за счет градиента напора верховодки в песке над моренным суглинком.

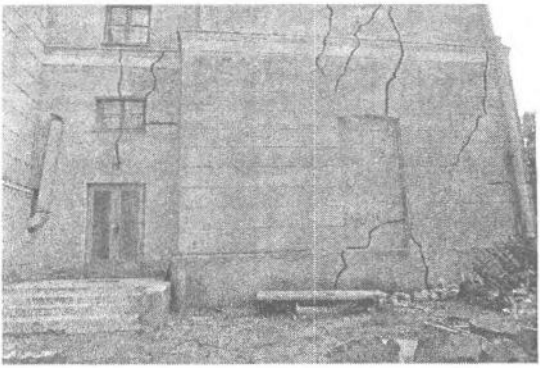


Рис. 5. Деформации в стенах вестибюлей театра Я. Купалы

Просчеты проектировщиков выразились в использовании свайного варианта ограждения котлована вместо траншейного.

Строители не учли опасность суффозионного разупрочнения грунта за счет гидродинамического давления при разности напора воды снаружи и внутри скважин с виброуплотнением песков под подошвами фундаментов и динамических воздействий при ударном погружении обсадных труб.

Для спасения здания с возникшими дефектами по предложению нашей кафедры были подведены под существующие ленточные фундаменты прижимные ростверки с козловой системой из вертикальных и наклонных рядов буроинъекционных свай, а также устроены бандажи из напрягаемых тяжей для крепления вестибюлей к стенам здания театра.

Дефектам и авариям подпорных стен и ограждений котлованов часто способствуют ***недостоверные данные о грунтах и их свойствах*** [1] в сочетании с другими факторами. У насыпных грунтов прочностные свойства обычно не определяются, что не позволяет достоверно оценить боковые распоры грунта на стены и ограждения. Ранее действовавшие нормы зани-

жали распоры, принимая их минимальными в активном состоянии вместо увеличенных в покое, а фильтрационные силы с возможным пучением грунта при промерзании вообще игнорировались. Это положение в настоящее время изменено в [2; 3].

Характерные примеры дефектов и аварий подпорных стен:

– из бетонных блоков **по ул. Бельского** для ограждения площадки гаражного кооператива со стороны территории фирмы «Европоддон» (отклонение от вертикали и смещение блоков по высоте и в плане без связи в швах и дренажных отверстий в кладке при пучинистом глинистом грунте за стенкой и засорени водоотводящего лотка, малом заглубления стены ниже поверхности);

– аналогичная **по ул. Притыцкого** возле заводских корпусов (рис. 6, *а*) при наличии подобных факторов;

– такого же типа и за счет тех же факторов **по ул. Жудро** с разрушением (рис. 6, *б*) и возникшим оврагом на склоне вдоль протоптанной тропинки;

а) *б*)

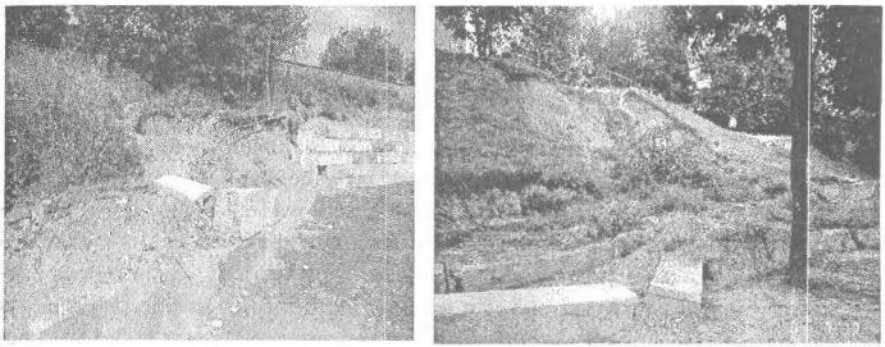


Рис. 6. Обрушение подпорных стен из сборных бетонных блоков:
а – на ул. Притыцкого; *б* – на ул. Жудро

– сборная уголковая **возле школы на Юго-Западе** г. Минска с высоким откосом из пылеватого суглинка и многоэтажным жилым домом наверху получила обрушение или недопустимый наклон на ряде участков с поломкой малопрочных вертикальных элементов. Для исправления ситуации вертикальные панели заменили более прочными с устройством дренажных отверстий в них понизу и железобетонного водоотводящего лотка сверху при армировании обратной засыпки бракованными панелями;

– монолитные железобетонные уголковые **по пр. Жукова и смежная с ней возле заправочной станции МАПИД** получили чрезмерные деформации и разрушения отдельных участков за счет тех же факторов. Новые решения восстановления стен включали выполнение монолитных железобетонных покрытий на лицевой стороне и увеличение устойчивости напрягаемыми буроинъекционными анкерами (рис. 7).

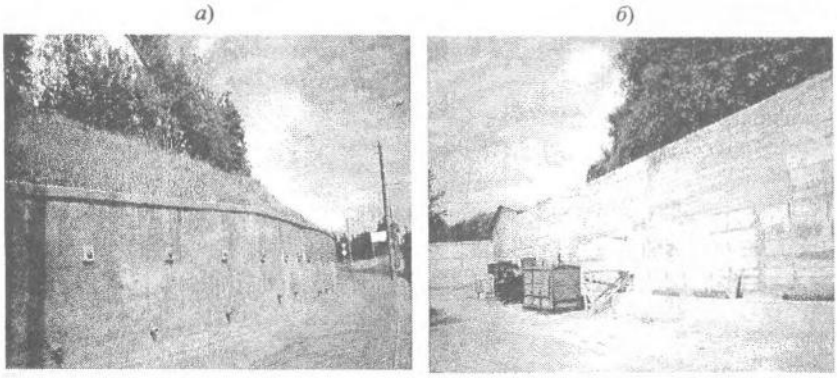


Рис. 7. Санация деформированных монолитных подпорных стен:
а – по пр. Жукова после реконструкции;
б – подпорная стена МАПИД в процессе реконструкции

Монолитная железобетонная уголковая возле строящегося супермаркета на пересечении ул. Я.Лучины – Игуменский тракт в г. Минске обрушилась на участке возле угловой части (рис. 8) вследствие основного человеческого фактора, т.е. при недостаточных профессиональных знаниях по геотехнике. Авторы проекта рассчитали стены по старым нормам при недостоверных данных об инженерно-геологических условиях и свойствах грунтов по трассе стены (наличие слоя мергеля под фундаментной плитой – рис. 8, *в*) и приняли неудачное ее конструктивное решение, особенно неудачное армирование вертикальных панелей с переменными толщинами. Строители уплотняли обратную засыпку из разнородного грунта мощным виброкатком, увеличив боковое давление пластичных тиксотропных лессовидных супесей, при этом прочность бетона оказалась ниже проектной.

В итоге пришлось использовать обваловку грунтом со стороны оврага (рис. 8, *г*), а на обрушенном участке выполнить новую конструкцию стены с монолитным железобетонным поясом.

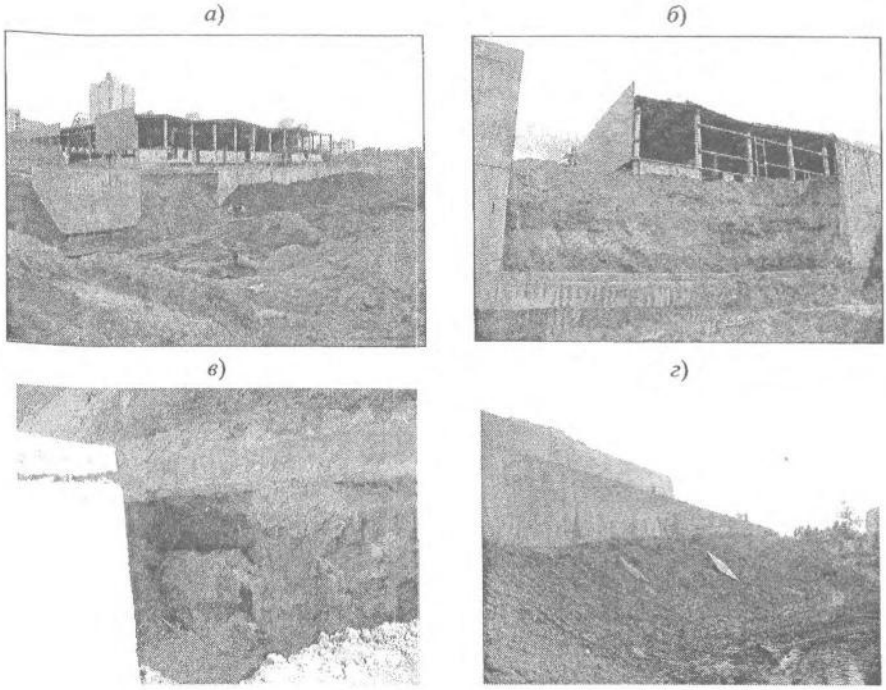


Рис. 8. Авария участка монолитной уголковой подпорной стены:
а – общий вид на стену возле строящегося супермаркета; *б* – зона обрушения;
в – мергель и выравнивающая прослойка песка под нижней плитой подпорной стены в ее угловой части; *г* – обвалование грунтом подпорной стены со стороны оврага

Котлован для прокладки трубопроводов в г. Слуцке вообще оказался без ограждения. Здесь произошел групповой несчастный случай при испытании системы подземных водонесущих трубопроводов. Под напором водяной струи из дефектного узла сопряжения труб возникли размыв и обрушение насыпного грунта в крутом откосе, что привело к различной степени увечья троих рабочих. В данном случае ярко проявился ***низкий профессионализм производителя работ***, допустившего грубый просчет из-за пренебрежения особенностями геологических условий и правилами техники безопасности.

Котлован для прокладки трубопроводов в г. Минске по ул. Ф. Скорины также был отрыт без ограждения вблизи от административного здания, поэтому при обрушении плит старого крыльца с находящимся под ним песком (рис. 9) произошло травмирование работницы.

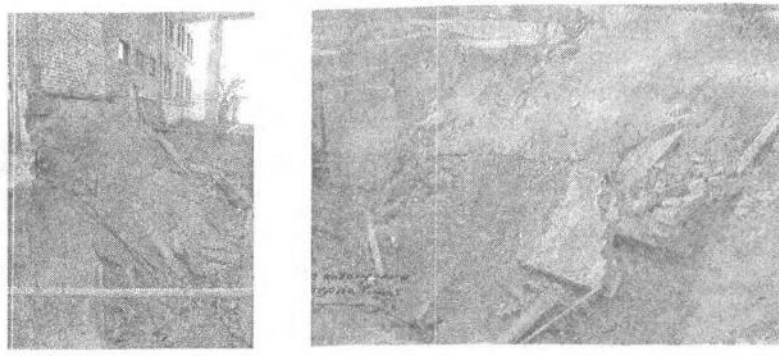


Рис. 9. Обрушение песчаного грунта с конструкциями старого крыльца при отрывке без ограждения котлована для подземных коммуникаций возле административного здания

Ограждение котлована для молодежного развлекательного центра «Парус» по ул. Притыцкого со стороны существующих подземных трубопроводов, включая канализационные, было запроектировано в виде свайно-балочного при малых сечениях двутавровых опор с большими расстояниями между ними. Недостаточная жесткость балок привела к их прогибам и обрушению грунта с разрушением трубопроводов, что привело к затоплению котлована фекалиями (рис. 10).

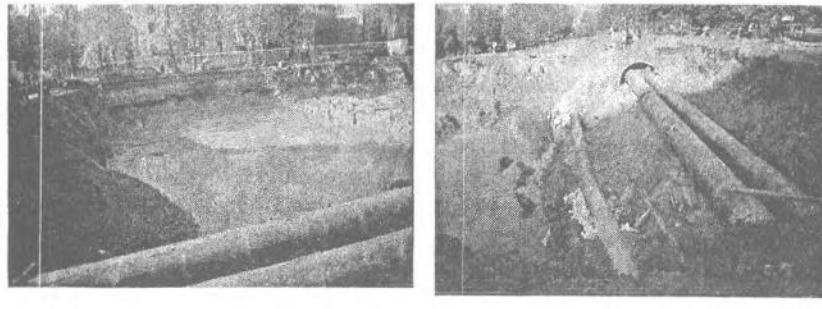


Рис. 10. Авария при отрывке котлована для молодежного развлекательного центра «Парус» по ул. Притыцкого

Авария свайно-балочного ограждения котлована на ул. Некрасова в г. Минске (рис. 11) произошла вследствие недостаточной жесткости двутавровых опор при увеличенном распоре грунта при воздействии фильтрационных сил и замачивании основания.

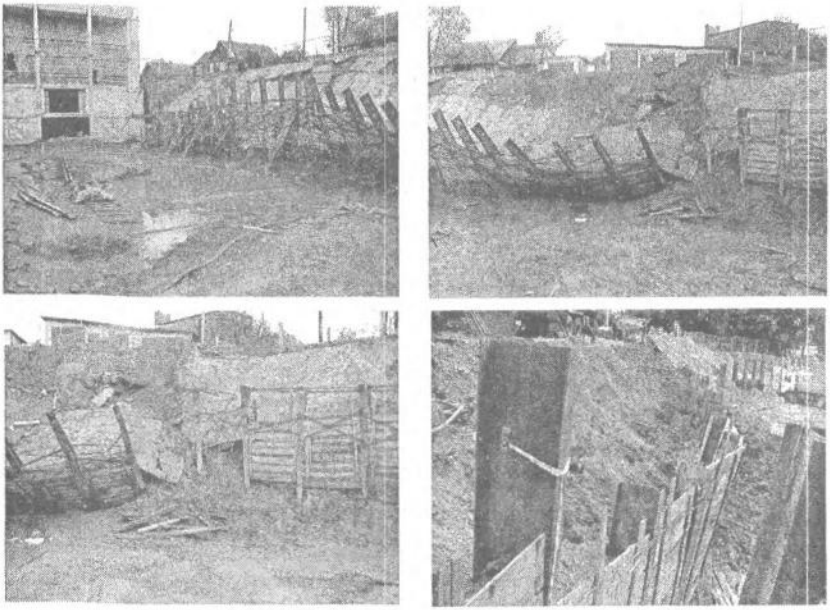


Рис. 11. Обрушение свайно-балочной ограждающей стены возле строящегося здания на ул. Некрасова в г. Минске

Авария на котловане ОАО «Беларусбанк» в г. Минске возникла даже с человеческой жертвой вследствие того, что ограждение согласно проекту не было выполнено (рис. 12) по ошибочному мотиву, поскольку в моренных суглинках якобы устойчивы даже вертикальные откосы.



Рис. 12. Обрушение моренного суглинка при отрывке котлована для ОАО «Беларусбанк» без ограждающей стены, предусмотренной проектом

Многочисленные аварии на строительных котлованах в зарубежной практике детально рассмотрены в публикациях[4,5], что подчеркивает актуальность данной проблемы.

Заключение.

1. В геотехнической практике Беларуси и многих зарубежных стран просматривается опасная тенденция увеличения аварийных ситуаций при выполнении ограждений глубоких строительных котлованов, что в большинстве случаев обусловлено многими факторами, включая низкие профессиональные знания строителей по геотехнике.

2. Для изменения проблемы в лучшую сторону требуются меры:

– улучшение профессиональных знаний строителей по геотехнике;

– научное сопровождение проектных и строительных работ с учетом особой специфики взаимодействия с грунтами ограждающих конструкций для крепления вертикальных бортов глубоких котлованов;

– повышение достоверности данных об особенностях геологических условий и свойствах грунтов по глубине и вдоль ограждений котлованов.

Литература

1. Никитенко, М.И. Неполнота исходных данных об инженерно-геологических условиях и свойствах грунтов – важнейший фактор риска в геотехнике / М.И. Никитенко // Строительная наука и техника, – Минск, 2007. – № 3(12). – С. 66 – 78.
2. Никитенко, М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при возведении и реконструкции зданий и сооружений / М.И. Никитенко. – Минск: БНТУ, 2007. – 580 с.
3. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Подпорные стены и крепления котлованов. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-237-2011 (02250): – Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – 100 с.
4. Колыбин, И.В. Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях / И.В. Колыбин // Развитие городов и геотехническое строительство. – СПб., 2008. – № 12. – С. 90 – 124.
5. Брандль, Х. Разрушение глубокого котлована в условиях городской застройки / Х. Брандль // Развитие городов и геотехническое строительство. – СПб., 2008. – № 12. – С. 170 – 179.

УДК 624.131

Костюкович П.Н., д-р техн. наук, проф.
(БНТУ, г. Минск)

ЗОНЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ ПО КОНСОЛИДИРОВАННЫМ И НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫМ СРЕЗАМ

На базе многочисленных опытов по сдвиговой прочности инженерно-геологических элементов (ИГЭ) геооснования Национальной библиотеки Беларуси разработана методология построения и анализа зон инженерно-геологического риска (ИГР) – зон рекомендуемой прочности – и исследованы основные закономерности взаимодействия этих зон в условиях консолидированных и неконсолидированных срезов монолитов. Выполнено сопоставление ИГЭ по двум критериям их прочности – зондировочной и сдвиговой. Показано, что классификация ИГЭ по параметрам зондирования носит в основном частный характер и, в общем, не совпадает с их кулоновской прочностью, принимающей в подзонах ИГР одинаковые значения для ИГЭ, обладающих различной зондировочной прочностью. Установлено, что в моренных супесях и суглинках с ростом удельного сцепления $\pm\tau_0$ значения коэффициентов внутреннего трения нелинейно уменьшаются, асимптотически стремясь к константе $(tg\varphi_0)_{min} = 0{,}35$ у супесей и $(tg\varphi_0)_{min} = 0{,}21$ у суглинков.

Инженерно-геологическая диагностика геооснований носит вероятностный характер. Он порождается двумя основными факторами:

1) теоретической обоснованностью выполненных определений и расчетов, т.е. степенью соответствия механических моделей, по которым определяются прочностные, деформативные, фильтрационные и другие физико-механические характеристики грунтов, прогнозным или проектным моделям (обычно линейно деформируемого тела);

2) ограниченной представительностью (неполнотой) информации, обусловленной дискретностью размещения точек измерений, сложностью геологического строения, инженерно-геологических и гидрогеологических условий, темпами и диапазонами колебания влажности ИГЭ и т.д. [2; 5].

Поэтому инженерно-геологические заключения и рекомендации, основанные на такой информации, содержат положения и количественные оценки (например, фазового состояния, прочности, деформируемости, горного давления), обладающие различной степенью приближения к истин-

ным значениям и формирующие обширные пространства рекомендуемых (случайных) величин – *зоны инженерно-геологического риска (ИГР)* или зоны относительной достоверности, внутри которых размещается весь спектр (кроме отбракованных в процессе определения) опытных параметров геологической среды.

В сущности данные зоны представляют собой области *вариации опытной сдвиговой прочности* и потому вызывают большой теоретический и проектно-изыскательный интерес. В то же время научной методологии построения и идентификации зон *ИГР* (прежде всего прогнозирования их взаимодействия и последующего появления *подзон ИГР, общих для различных ИГЭ*) пока не имеется (по этой причине в программах инженерно-геологических изысканий не требуется вычислять степень надежности планируемых оценок *ИГЭ* и прогнозируемых процессов); существующие нормативные предложения замкнуты на ограниченных объемах выполняемых работ, не содержат строгих оценочных критериев ИГР и нуждаются в совершенствовании, особенно с позиции теории обоснования систем координат при графоаналитическом представлении зон ИГР. Опыт показывает [2; 4]: в этом отношении приоритет имеют системы координат $\varepsilon(\sigma)$, $\tau(\sigma)$, $V(i)$, $S_н = f[ln(t/r^{2-\lambda})]$ и др., непосредственно вытекающие из базовых законов (Гука – h_1, h_2; Кулона – k_1, k_2; Дарси – d_1, d_2) или из фундаментальных решений, построенных на этих законах [1; 2].

В рамках данной концепции под прочностью грунтов будем понимать их сопротивление деформациям, создаваемым тремя главными силами геологической среды – массовыми (гравитационными), гуковскими (сжимающими) и кулоновсками (сдвигающими), а также их бесконечными комбинациями [2, 5]. Каждая группа действующих сил образует свои деформации, вызывая в грунте соответствующие сопротивления, именуемые прочностью [7]. Поэтому различают в отдельности *гуковскую прочность* (сопротивление уплотнению), характеризуемую модулем деформации E, когда процесс подчиняется первому (прямо пропорциональному) закону Гука $\varepsilon(\sigma) = (\beta_0/E)\sigma$, и параметрами ($\varepsilon_0$, E_0) – при наличии обобщенного (кусочно-линейного) закона Гука $\varepsilon(\sigma) = \varepsilon_0 + (\beta_0/E_0)\sigma$, и *кулоновскую прочность* (сопротивление сдвигу), характеризуемую коэффициентом внутреннего трения $tg\varphi$ в сыпучих (несвязных) грунтах $\tau(\sigma) = (tg\varphi)\sigma$ и параметрами ($tg\varphi_0$, τ_0) – в связных $\tau(\sigma) = \pm\tau_0 + (tg\varphi_0)\sigma$ [1; 5].

Ввиду сложного взаимодействия главных сил и создаваемых ими деформаций на практике часто *ИГЭ* классифицируют не по этим двум видам прочности, а по суммарному сопротивлению грунтового массива вдавливанию в него стальных фигур – конусов (зондов) и штампов (обычно квадратной или круговой формы), для геометрии которых и прямо пропорциональ-

ных законов деформации имеются аналитические решения. В этой связи возникла идея исследовать возможность применения «зондировочной» прочности ИГЭ для оценки их прочности кулоновской. Поскольку между последней и гуковской прочностями установлено существование аналитических связей [1], будет легко перейти от закономерностей «зондирование – кулоновская прочность» к функциям «зондирование – гуковская прочность».

При решении данной задачи будем различать прочность грунта в виде образца, закладываемого в одометр или сдвиговой прибор, и прочность грунтового массива (геооснования); зондирование и штамповые испытания проводятся в грунтовых массивах, компрессионные испытания и большинство срезов – на образцах грунта – монолитах. Опыты показывают, что деформационные модели грунтов при компрессионных испытаниях обычно кусочно-линейные и прямо пропорциональные, в то время как осадка штампов в аналогичных грунтовых массивах или ИГЭ подчиняется явно нелинейным зависимостям [2; 4].

Эти факты являются первопричиной несоблюдения принципа единства прямых (инженерно-геологические прогнозы) и обратных (оценка параметров геологической среды) задач геомеханики (рис. 1) и в итоге создают неразрешимые пока проблемы *инженерно-геологической масштабности*, приводящие к существенным погрешностям в оценке несущей способности геооснований по опытным характеристикам образцов грунта [2; 5; 6].

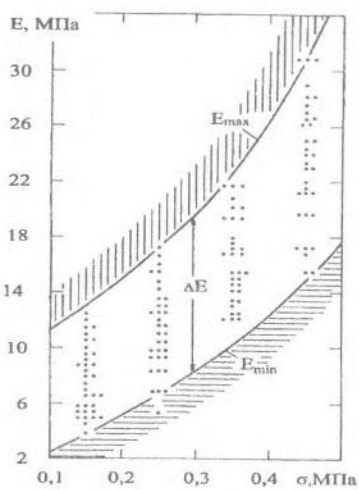


Рис. 1. Зависимость компрессионного модуля деформации (E) *«супесей с гравием пластичных»* от вертикального давления (σ) – типичный пример оценки модуля деформации E по модели ε(σ), не соответствующей природной [2, 5, 6]; $\Delta E(\sigma) = E_{max}(\sigma)-E_{min}(\sigma)$ – динамика зоны инженерно-геологического риска при оценке E в интервале вертикальных давлений 0,1 – 0,5 МПа. Корреляция построена по 144 лабораторным определениям $E(\sigma)$ на образцах естественной структуры и влажности (геооснования района г. Минска, данные Геосервиса)

В рамках данной концепции под зоной ИГР по сдвиговой прочности грунтов (зоной рекомендуемой прочности) будем понимать поле множест-

ва опытных точек (определений) τ(σ), полученных для данного ИГЭ и расположенных между областями *гарантированной прочности P и гарантированного разрушения (сдвига) R* (рис. 2, 3):

$$P[\tau(\sigma) < \tau_{min}(\sigma)] \leq ИГР[\tau(\sigma)] \leq R[\tau(\sigma) > \tau_{max}(\sigma)]. \quad (1)$$

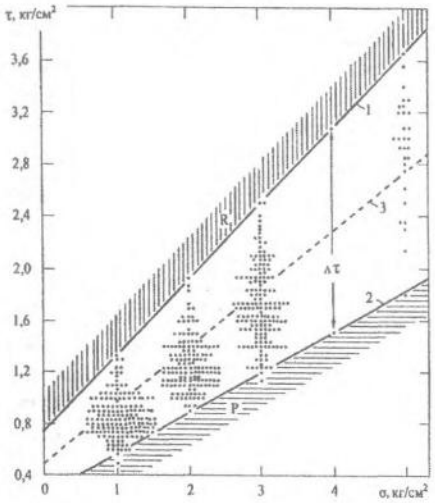


Рис. 2. Расширение зоны инженерно-геологического риска Δτ между областями сдвиговой прочности «*P*» и разрушения «*R*» в *моренных суглинках* при росте вертикальных нагрузок от 1 до 5 кг/см^2:

$1 - \tau_{max}(\sigma) = 0{,}76 + 0{,}58\sigma;$

$2 - \tau_{min}(\sigma) = 0{,}26 + 0{,}313\sigma;$

$3 - \tau_{ср}(\sigma) = (\tau_{max} + \tau_{min})/2 = 0{,}51 + 0{,}445\sigma;$

$\Delta\tau(\sigma) = \tau_{max} - \tau_{min} = 0{,}50 + 0{,}267\sigma.$

Значения τ и σ измерены в 504 консолидированных срезах суглинков естественной структуры и влажности на 9 объектах Минска, включая геооснование Национальной библиотеки Беларуси (данные Геосервиса).

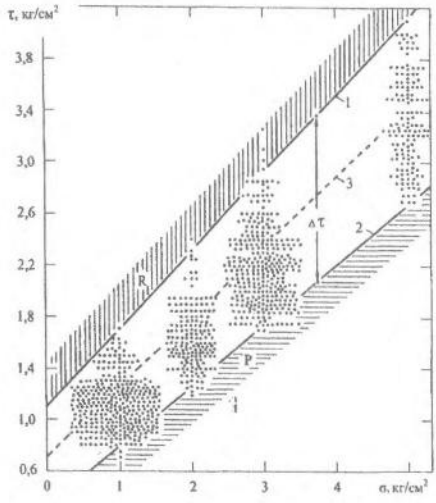


Рис. 3. Расширение зоны инженерно-геологического риска Δτ между областями сдвиговой прочности «*P*» и разрушения «R» в *моренных супесях* при росте вертикальных нагрузок от 1 до 5 кг/см^2:

$1 - \tau_{max}(\sigma) = 0{,}10 + 0{,}61\sigma;$

$2 - \tau_{min}(\sigma) = 0{,}34 + 0{,}47\sigma;$

$3 - \tau_{ср}(\sigma) = (\tau_{max} + \tau_{min})/2 = 0{,}72 + 0{,}54\sigma;$

$\Delta\tau(\sigma) = \tau_{max} - \tau_{min} = 0{,}76 + 0{,}14\sigma.$

Значения τ и σ измерены в 980 консолидированных срезах супесей естественной структуры и влажности на 9 объектах Минска, включая геооснование Национальной библиотеки Беларуси.

Аналогично определяются зоны ИГР по фазовому состоянию, деформируемости, водопроводимости, пьезопроводности и другим свойствам геооснований [3].

Исследование взаимодействия зон ИГР, присущих различным ИГЭ геооснований Минска, позволило сделать следующие выводы.

1. В связных грунтах верхняя

$$\tau_{max}(\sigma) = \tau_{0max} + (tg\varphi_{0max})\sigma \quad (2)$$

и нижняя

$$\tau_{min}(\sigma) = \tau_{0min} + (tg\varphi_{0min})\sigma \quad (3)$$

границы зон ИГР подчиняются обобщенному закону Кулона; из (2) и (3) следует, что этому же закону подчиняется также расширение зон ИГР, т.е. имеет место линейное возрастание мощности (ширины) зон $\Delta\tau(\sigma)$ с ростом σ (табл. 1, рис. 4 – 6):

$$\Delta\tau(\sigma) = \tau_{max}(\sigma) - \tau_{min}(\sigma) = \Delta\tau_0 + (tg\varphi_{0max} - tg\varphi_{0min})\sigma. \quad (4)$$

Опыты показывают, что из-за различия в величинах коэффициентов внутреннего трения $tg\varphi_0$ на верхних и нижних границах зон $\Delta\tau(\sigma)$ последние часто пересекаются, образуя *подзоны общей сдвиговой прочности* у ИГЭ, относимых, например, с позиции статического зондирования, к ИГЭ совершенно другой прочности: слабым (q_c<1), средней прочности ($1 \le q_c \le 2{,}5$), прочным ($2{,}5 < q_c \le 6{,}5$) и очень прочным ($q_c > 6{,}5$ МПа) [СТБ 943-93] (рис. 4 – 6).

Таблица 1

ИГЭ	Консолидированные срезы	Неконсолидированные срезы
7	$\tau_{max} = 0{,}41 + 0{,}57\sigma$; $\tau_{min} = 0{,}35 + 0{,}43\sigma$ $\tau_{ср} = 0{,}38 + 0{,}50\sigma$; $\Delta\tau = 0{,}06 + 0{,}14\sigma$	$\tau_{max} = 1{,}87 + 0{,}13\sigma$; $\tau_{min} = 1{,}62 + 0{,}09\sigma$ $\tau_{ср} = 1{,}745 + 0{,}11\sigma$; $\Delta\tau = 0{,}25 + 0{,}04\sigma$
8	$\tau_{max} = 0{,}62 + 0{,}67\sigma$; $\tau_{min} = 0{,}31 + 0{,}48\sigma$ $\tau_{ср} = 0{,}465 + 0{,}575\sigma$; $\Delta\tau = 0{,}31 + 0{,}19\sigma$	$\tau_{max} = 0{,}93 + 0{,}22\sigma$; $\tau_{min} = 0{,}30 + 0{,}20\sigma$ $\tau_{ср} = 0{,}615 + 0{,}21\sigma$; $\Delta\tau = 0{,}63 + 0{,}02\sigma$
9	$\tau_{max} = 1{,}01 + 0{,}53\sigma$; $\tau_{min} = 0{,}35 + 0{,}40\sigma$ $\tau_{ср} = 0{,}68 + 0{,}465\sigma$; $\Delta\tau = 0{,}66 + 0{,}13\sigma$	$\tau_{max} = 1{,}25 + 0{,}50\sigma$; $\tau_{min} = 0{,}30 + 0{,}47\sigma$ $\tau_{ср} = 0{,}775 + 0{,}485\sigma$; $\Delta\tau = 0{,}95 + 0{,}03\sigma$
10	$\tau_{max} = 1{,}10 + 0{,}60\sigma$; $\tau_{min} = 0{,}31 + 0{,}44\sigma$ $\tau_{ср} = 0{,}705 + 0{,}52\sigma$; $\Delta\tau = 0{,}79 + 0{,}16\sigma$	$\tau_{max} = 1{,}12 + 0{,}50\sigma$; $\tau_{min} = 0{,}50 + 0{,}376\sigma$ $\tau_{ср} = 0{,}81 + 0{,}438\sigma$; $\Delta\tau = 0{,}62 + 0{,}124\sigma$

Расширение (с ростом σ) и взаимодействие (наложение друг на друга) зон инженерно-геологического риска $\Delta\tau(\sigma) = \tau_{max} - \tau_{min}$ в моренных отложениях геооснования Национальной библиотеки Беларуси (ИГЭ: 7 – суглинки средней прочности; 8, 9, 10 – супеси соответственно средней прочности, прочные и очень прочные → по данным Геосервиса); τ_{max}, τ_{min} – соответственно верхняя (max) и

нижняя (min) границы зон ИГР при консолидированных и неконсолидированных срезах монолитов; $\tau_{ср}(\sigma) = (\tau_{max} + \tau_{min})/2$ – средние прямые между границами τ_{max} и τ_{min}; $\Delta\tau(\sigma) = \tau_{max} - \tau_{min} = \Delta\tau_0 + [tg(\Delta\varphi_0)]\sigma$ – ширина зоны ИГР как функция σ; τ, Δτ, σ – кг/см^2.

Из данного факта следуют важные как теоретические, так и методологические положения, из которых выделим два. Первое указывает на то, что классификация ИГЭ по их сопротивлению вдавливанию (статическому или динамическому) зонда носит сугубо частный характер и справедлива прежде всего для аналогичных вдавливанию скоростных геодинамических процессов, *сходных по инженерно-геологической масштабности с зондированием* [1 – 3].

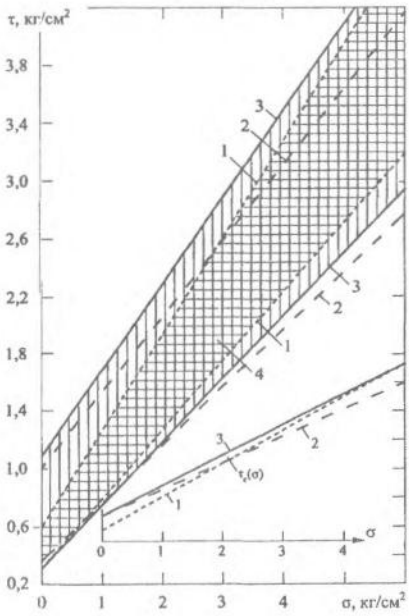


Рис. 4. Характер наложения областей сдвиговой прочности при *консолидированных срезах* моренных супесей «средней прочности» (ИГЭ-8), «прочных» (ИГЭ-9) и «очень прочных» (ИГЭ-10) геооснования Национальной библиотеки Беларуси. Во ставке – осредненные диаграммы сопротивлений супесей консолидированному срезу $\tau_c = f(\sigma)$.
Границы областей:
1 – ИГЭ-8; 2 – ИГЭ-9; 3 – ИГЭ-10;
4 – область одинаковой прочности ИГЭ-8 и ИГЭ – 10

Второе положение состоит в том, что сдвиговая прочность ИГЭ $\Delta\tau(\sigma)$, будучи линейной функцией σ, в общем, не совпадает с «зондировочной» прочностью q_c, которая в отчетах является константой и не зависит от влажности грунта и σ. Поэтому классификация ИГЭ по q_c и другим параметрам зондирования может только случайно и на определенном интервале σ соответствовать их классификации по сдвиговой прочности $\Delta\tau(\sigma)$ (рис. 4 – 6). Есть возможность распространения этого вывода и на гуковскую прочность ИГЭ [1; 2].

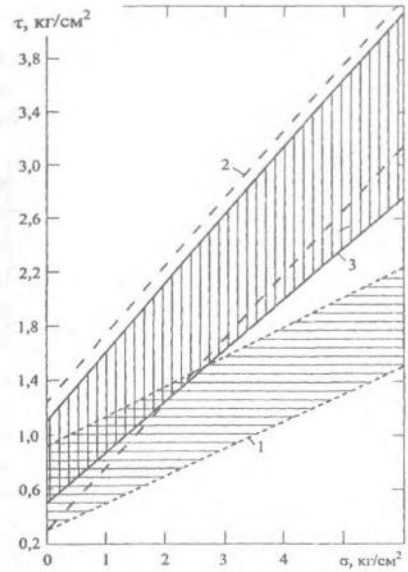
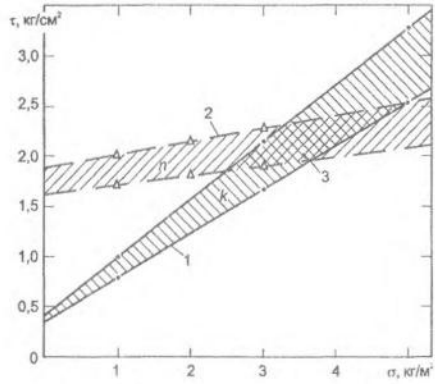


Рис. 5. Характер взаимодействия областей сдвиговой прочности при *неконсолидированных срезах* моренных супесей:
1 – «средней прочности» (ИГЭ-8);
2 – «прочных» (ИГЭ-9);
3 – «очень прочных» (ИГЭ-10).
Геооснование Национальной библиотеки Беларуси.



Диапазоны изменения естественной влажности W суглинка составляют: 10,0 – 16,4 % в консолидированных (*k*) и 9,6 – 14,0 % в неконсолидированных (*n*) срезах (графики построены по опытным данным Геосервиса); границы областей сдвиговой прочности грунта при срезах: 1 – консолидированных; 2 – неконсолидированных; 3 – область одинаковой прочности грунта при консолидированных и неконсолидированных срезах.

Рис. 6. Области существования экспериментальных зависимостей предельного сопротивления сдвигу от уплотняющего давления $\tau = (\sigma)$, характерные для *суглинка моренного средней прочности* (ИГЭ-7) геооснования Национальной библиотеки Беларуси

2. Удельное сцепление грунтов $\pm\tau_0$, определяемое как аппроксимационный отрезок прямой $\tau(\sigma)$, всегда располагается в интервале $\tau_{0min} \leq \pm\tau_0 \leq \tau_{0max}$. Это ограничение приводит к тому, что *максимальные значения коэффициента внутреннего трения* $(\mathrm{tg}\varphi_0)_{max} = 0{,}9 - 1{,}1$ *приурочены к минимальным величинам удельного сцепления,* т.е. с ростом τ_0 значения $\mathrm{tg}\varphi_0$ нелинейно

уменьшаются, асимптотически стремясь к константе $(tg\varphi_0)_{min}$=0,35 у супесей и $(tg\varphi_0)_{min}$= 0,21 у суглинков (табл. 2). Для методологической и проектно-изыскательской практики этот вывод можно считать фундаментальным.

Таблица 2

$\pm\tau_0$, кг/см^2	Супеси	Суглинки	$\pm\tau_0$, кг/см^2	Супеси	Суглинки
	$tg\varphi_0$	$tg\varphi_0$		$tg\varphi_0$	$tg\varphi_0$
–0,2	–	1,10	0,8	0,44	0,29
–0,1	1,13	0,90	0,9	0,42	0,26
0	0,94	0,78	1,0	0,41	0,24
0,1	0,79	0,65	1,1	0,395	0,225
0,2	0,70	0,57	1,2	0,38	0,22
0,3	0,60	0,50	1,3	0,375	0,215
0,4	0,53	0,42	1,4	0,37	–
0,5	0,50	0,34	1,5	0,36	–
0,6	0,48	0,32	1,6	0,35	–
0,7	0,46	0,30	1,7	0,35	–

Корреляционная связь между удельным кулоновским сцеплением $\pm\tau_0$ и коэффициентом внутреннего трения $tg\varphi_0 = [\tau(\sigma) \pm \tau_0]/\sigma$ в *моренных супесях* «средней прочности, прочных и очень прочных» (n = 960) и *моренных суглинках* «слабых, средней прочности и прочных» (n = 1000). Корреляция построена по *консолидированным срезам* монолитов на 9 объектах Минска, включая геооснование Национальной библиотеки Беларуси (данные Геосервиса); n – количество срезов; $\pm\tau_0$ и $tg\varphi_0$ – начальные отрезки и угловые коэффициенты кулоновских прямых k_2: $\tau(\sigma)=\pm\tau_0+(tg\varphi_0)\sigma$.

3. У всех исследованных ИГЭ в диапазоне сжимающих нагрузок σ = 0 – 5 кг/см^2 имеет место пересечение областей рекомендуемой прочности (зон ИГР), образуемых при консолидированных срезах, с аналогичными областями, образуемыми при неконсолидированных срезах, т.е. имеет место формирование в грунтовых толщах подзон $\Delta\tau(\sigma)$ общей сдвиговой прочности для условий консолидированных и неконсолидированных срезов.

При консолидированных срезах зоны ИГР всех трех ИГЭ, сложенных *моренными супесями* (прочные, средней прочности и очень прочные – по параметру зондирования q_c), накладываются друг на друга и образуют единую для всех ИГЭ *зону одинаковой сдвиговой прочности* $\Delta\tau(\sigma)$ (эта закономерность подтверждается также диаграммами осредненных сопротивлений супесей консолидированному срезу $\tau_c(\sigma)$) (см. рис. 4).

Более сложное и неоднозначное взаимодействие зон ИГР, присущих данным ИГЭ, имеет место в неконсолидированных срезах (см. рис. 5).

Здесь можно отметить две особенности этого взаимодействия:

1) зона одинаковой сдвиговой прочности $\Delta\tau(\sigma)$ у всех трех ИГЭ возникает при незначительных сжимающих нагрузках ($\sigma \leq 2$ кг/см^2), за пределами которых (при $\sigma > 2$ кг/см^2) она исчезает и далее начинается другая закономерность:

2) грунты «прочные» (ИГЭ-9) и «очень прочные» (ИГЭ-10) образуют зону общей сдвиговой прочности, а грунты «средней прочности» (ИГЭ-8) – отдельную зону минимальной сдвиговой прочности. Таким образом, практически во всех случаях консолидированных и неконсолидированных срезов сдвиговая прочность ИГЭ не соответствует их «зондировочной» прочности, что указывает на *существование принципиальных упущений и недостатков в концепции классификации ИГЭ по параметрам зондирования.*

Данные выводы в общем случае подтверждаются взаимодействием областей сдвиговой прочности $\Delta\tau(\sigma)$, зафиксированных у других типов грунтов (см. рис. 6). Этот и другие аналогичные факты требуют более обоснованного подхода к классификации ИГЭ по параметрам зондирования.

4. Расширение (с ростом σ) зон ИГР, формирующихся при консолидированных и неконсолидированных срезах монолитов, в одних и тех же ИГЭ происходит с различными темпами $\Delta(\mathrm{tg}\varphi_0)$; к примеру, в моренных супесях и суглинках при консолидированных срезах $\Delta(\mathrm{tg}\varphi_0) = 0{,}12 - 0{,}18$, при неконсолидированных существенно меньше и составляет $\Delta(\mathrm{tg}\varphi_0) = 0{,}02 - 0{,}12$ (см. табл. 1); этот фактор приводит к наложению (взаимодействию) зон $\Delta\tau(\sigma)$, относящихся к одному или многим ИГЭ, и образованию общих *подзон ИГР* с одинаковыми для различных ИГЭ прочностными характеристиками.

Определение подзон $\Delta\tau(\sigma)$, принадлежащих двум различным (с позиции «зондировочной» прочности) ИГЭ, но обладающих одинаковой для них сдвиговой прочностью, производится по координатам (σ, τ) 4-х точек пересечения верхних (V) и нижних (n) кулоновских прямых, ограничивающих пересекающиеся зоны $\Delta\tau_1(\sigma)$ и $\Delta\tau_2(\sigma)$:

$$\Delta\tau_1(\sigma) \rightarrow \tau_{1V}(\sigma) + \tau_{1n}(\sigma);\ \Delta\tau_2(\sigma) \rightarrow \tau_{2V}(\sigma) + \tau_{2n}(\sigma). \qquad (5)$$

Координаты точек пересечения 4-х границ рассчитываются с учетом равенства сдвиговых сопротивлений в этих точках [3]:

$$1\ (\tau_{1n} = \tau_{2V});\ 2(\tau_{1V} = \tau_{2V});\ 3\ (\tau_{1V} = \tau_{2n});\ 4(\tau_{1n} = \tau_{2n}). \qquad (6)$$

Таким способом легко установить, что, к примеру, подзона $\Delta\tau(\sigma)$, характерная для ИГЭ-7 и обладающая одинаковой сдвиговой прочностью при неконсолидированных $\Delta\tau_1(\sigma)$ и консолидированных $\Delta\tau_2(\sigma)$ срезах,

формируется на пересечении этих зон (см. табл. 1); координаты угловых точек подзоны составляют (σ, τ – кг/см^2): 1(2,52; 1,85); 2(3,32; 2,30); 3 (5,07; 2,53); 4(3,74; 1,96).

Литература

1. Костюкович, П.Н. Теория функциональных связей между деформативными и прочностными характеристиками дисперсных грунтов / П.Н. Костюкович // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: тр. Междунар. науч. конф. – М.: МГУ, 2009. – С. 44 – 46.
2. Костюкович, П.Н. Теоретические основы сопоставления компрессионных и штамповых модулей деформации дисперсных грунтов / П.Н. Костюкович // Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии: тр. междунар. науч. конф. – М.: МГУ, 2010. – С. 48 – 53.
3. Костюкович, П.Н. Графоаналитический метод построения и анализа зон инженерно-геологического риска при оценке сдвиговой прочности грунтов / П.Н. Костюкович // Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии: тр. междунар. науч. конф. – М.: МГУ, 2010. – С. 68 – 71.
4. Костюкович, П.Н. Результаты компрессионных испытаний грунтов Беларуси / П.Н. Костюкович, И.П. Крошнер // Природные ресурсы. – Минск, 2009, № 1. – С. 29 – 34.
5. Костюкович, П.Н. Теория неустойчивости гуковских модулей деформации, определяемых по данным компрессионных и штамповых испытаний грунтов / П.Н. Костюкович, И.П. Крошнер // Преспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. тр. XVI междунар. науч.-метод. семинара. Часть 2. – Брест, БрГТУ, 2009. – С. 168 – 174.
6. Костюкович, П.Н. Причины несоответствия природного фазового состояния геооснований расчетному, создаваемому высокотемпературной сушкой грунтов / П.Н. Костюкович, И.П. Крошнер // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. тр. науч.-техн. конф. / С-Петерб. гос. архитектурно-строительный ун-т. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – С. 213 – 218.
7. Крошнер, И.П. Определение прочности грунтов по их сопротивлению стесненному сдвигу / П.Н. Костюкович, И.П. Крошнер // Городские агломерации на оползневых территориях. Ч. 1.: материалы междунар. науч. конф.; ВолгГАСА. – Волгоград., 2003. – С. 167 – 172.

УДК 624.131.551

Кравцов В.Н., канд. техн. наук; Лапатин П.В.
(Институт БелНИИС, г. Минск)

ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЯ ПО УЛ. ЧЕРНЯХОВСКОГО В Г. ВИТЕБСКЕ И ОЦЕНКА ВИБРООСАДОК, НАКОПЛЕННЫХ ОТ ТРАНСПОРТНОЙ ВИБРАЦИИ

Известно [1; 2], что в черте городов основными техногенными источниками вибрации, оказывающими существенное влияние на эксплуатационную надежность зданий и сооружений, являются городской транспорт, производственное оборудование, а также строительные механизмы.

Техногенное вибрационное загрязнение городов за последние 10 лет увеличилось в 1,5 раза. Особенно интенсивно оно возрастает за счет транспортного вибрационного фона [2].

Согласно действующим ТНПА, в частности ТКП 45-5.01-254-2012 [3], указанное обстоятельство должно в обязательном порядке учитываться при проектировании и эксплуатации зданий и сооружений. Однако этот вопрос отражен не в полном объеме и требует дальнейшего развития. В связи с этим в РУП «Институт БелНИИС» проводятся соответствующие исследования. В настоящей статье рассмотрен один из аспектов этой работы, связанной с оценкой накопленных виброосадок оснований фундаментов сооружений за весь период их эксплуатации, на примере жилого дома № 1 по ул. Черняховского в г. Витебске (далее объект), находящегося в зоне интенсивной транспортной вибрации.

1. Характеристика объекта, методика и результаты исследований

Исходя из цели обеспечения эксплуатационной надежности объекта, задачами его геодинамической оценки являлось:

– измерение вибрационных характеристик грунтов, фундаментов и подземных конструкций здания от транспортной нагрузки: ускорений a, м/с^2, амплитуды смещения A, мм, и частоты колебаний f, Гц с последующим сопоставлением полученных данных с их допустимыми значениями для рассматриваемого объекта.

– определение величины затухания колебаний с расстоянием от источника поверхностных волн и по глубине основания.

Определялись также частоты собственных и вынужденных колебаний источника и фундаментов в зависимости от характеристик упругости грунтов основания.

Измерения вибраций грунта и конструкций производились в соответствии с методикой ГОСТ 12.1.012 [4] и [3; 5] регистрацией (записью) результатов измерения на электронном источнике, с последующей расшифровкой и анализом полученных данных в лабораторных условиях.

1.1 Общая ситуация на момент геодинамического обследования оснований объекта.

Жилой дом по пр. Черняховского, 1, построен в 1961 г. (более 50 лет назад) на одной из главных магистралей города Витебска (рис. 1), которая в течение всего периода существования здания была загружена интенсивным движением городских трамваев и автотранспорта, существенно усилившимся в настоящее время. Объект расположен в 15 м от ближайшего к нему рельсового пути, а от автомобильного трафика в 7,5 м (рис. 2).



Рис. 1. Общий вид здания

Здание кирпичное, пятиэтажное, с подвалом. Высота помещений – 2,8 м, подвала – 2,6 м. Габаритные размеры в плане 53,55×12,61 м. Фундаменты плитные сборные ленточные и столбчатые под колонны 1-го этажа. Из-за значительных осадок насыпи и основания фундаментов в здании образовались многочисленные вертикальные трещины с максимальным раскрытием вверху до 70 мм (на момент обследования), которые фактически разделили его на три самостоятельные части (см. рис. 2).

По данным УП «Геосервис» здание расположено на территории спланированной искусственной насыпью, отсыпанной на склоне речного склона (холма) мощностью от 1,5 до 12 м. Насыпь состоит из насыпного, преимущественно пылеватого малопрочного водонасыщенного тиксотропного

грунта (ИГЭ2 – ИГЭ3) с модулем деформации E = 6 – 7 МПа, подстилаемого малопрочным мелким (ИГЭ4, E = 8МПа), средним (ИГЭ5, E = 21 МПа) песками и далее обводненными пылеватыми (ИГЭ7, E = 9 МПа) и ИГЭ8, E = 21 МПа) тиксотропными песками. Уровень подземных вод от поверхности грунта зафиксирован на отметках ∇ 4 – 5 м, примерно в 0,5 – 1 м от подошвы фундаментов.

Грунтовые условия объекта неблагоприятны для возведения сооружений 2-го уровня ответственности.

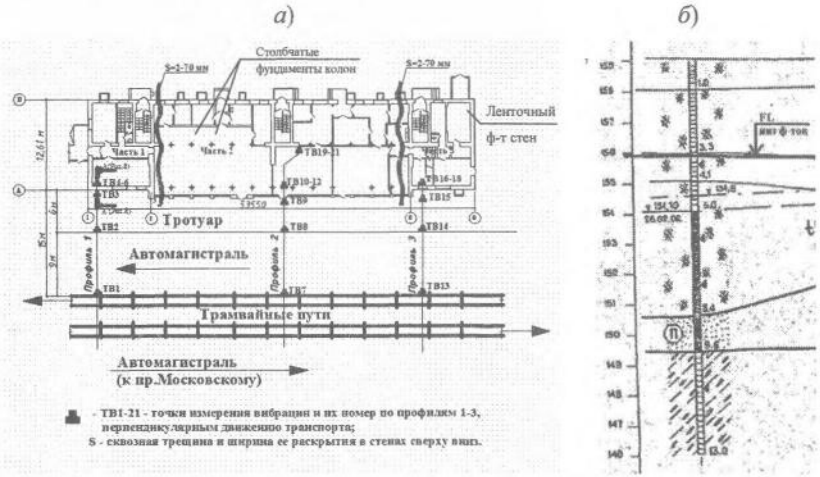


Рис. 2. Характеристика конструкций и основания фундаментов со схемой геодинамического обследования:
а – конструкция объекта со схемами отказов и измерения вибрации;
б – характерная геологическая колонка

1.2 Программа измерения транспортной вибрации, результаты и их анализ.

Объект расположен параллельно двухколейному трамвайному пути и двухполосной автодороге в одном уровне с ними (см. рис. 2).

Поэтому измерения вибрации для грунта и конструкций обследуемого здания выполнены для следующих режимов транспортного движения:

– общий транспортный фон, только для автотранспорта;

– то же, плюс одного трамвая по ближайшему пути;

- то же, плюс трамваи в обоих направлениях по ближнему и дальнему путям.

В процессе геодинамического обследования объекта установлено:

1) автомобильный транспорт генерирует наименее интенсивные колебания грунта, затухающие на расстоянии до 5 м от полотна дороги;

2) колебания грунта от трамваев, возникая как широкополосные, (на трассе протяженностью около 10 м), как правило, фильтруются до одной определяющей частоты, связанной с типом грунта;

3) при движении автомобильного транспорта и трамваев колебания грунта имеют кратковременный характер, практически без стационарного участка. Энергодинамическая составляющая процесса (вдоль профиля здания) не превышает 10 – 15 с, а период возникновения колебаний (интервал движения) составляет 5 – 15 мин (большее в час пик);

4) анализ колебаний грунта в фазовой плоскости «частота – перемещение – ускорение» от движения различных видов транспорта (рис. 3) показывает, что они существенно меньше допустимых. Однако, согласно [5] для слабых водонасыщенных грунтов в осях 1 – 3 уровень в локальных зонах в обводненном грунте с пониженной прочностью может существенно превысить допустимые значения для пылеватого песка в тиксотропном состоянии.

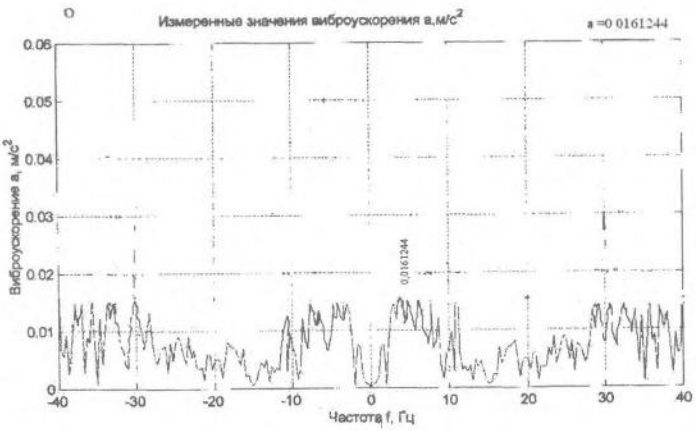


Рис. 3. Виброускорение грунта в точке ТВ18 по профилю 3 на рис. 2

Так как в действующих технических документах отсутствуют данные по прогнозированию динамических осадок, накапливаемых за срок эксплуатации сооружений от длительно действующей транспортной вибрации, оценка и расчет произведены по методике, разработанной авторами на

основе принципа прогнозирования сейсмических осадок земляных плотин по результатам лабораторных испытаний грунта в вибростабилометре [6]. Сущность метода заключается в послойном суммировании дополнительных динамических осадок фундаментов, накапливаемых во времени, по результатам натурного геодинамического обследования оснований фундаментов и лабораторных динамических испытаний грунтов, залегающих по их глубине в пределах сжимаемой зоны, в установке, обеспечивающей их загружение статической нагрузкой, соответствующей давлениям в основании по центральной оси подошвы фундамента для средних глубин каждого рассматриваемого слоя и моделирующей фактические натурные условия, установленные по результатам обследования (физико-механические характеристики грунта, мощность слоев, давление, частота, ускорение, продолжительность и уровень вибрации).

Характеристики колебаний лабораторной установки при проведении исследований соответствовали среднеквадратическим значениям на основном участке записи натурных акселерограмм (см. рис. 3).

Для каждого назначенного слоя i в процессе испытаний определялись динамические осадки s_{gi}, соответствующие одному году эксплуатации здания, которые суммировались с учетом коэффициентов пропорциональности $K_h = h/h_0$ и $K_t = t_1/t_0$ по формуле (1):

$$s_g = 0.8 \sum S_{gi} \cdot K_t \cdot K_h, \qquad (1)$$

где $K_t = t_i/t_0$ – коэффициент пропорциональности перехода от времени испытания на испытательной установке ко времени накопления динамической осадки за один год. В рассматриваемом случае $K_t = 10$; $K_h = h_i/h_0$ – коэффициент пропорционального перехода от толщины слоя в испытательной установке h_0, к толщине натурного слоя грунта h_i, м. В рассматриваемом случае K_h=2.

Накопленная динамическая осадка от транспортной вибрации s_{gt} за весь период эксплуатации объекта t, год, определена по формуле (2).

$$s_{gt} = 0.8 \sum t \cdot s_{gi} \cdot K_t \cdot K_h, \qquad (2)$$

Анализ результатов геодинамических исследований обводненного основания объекта показывает, что накопленные динамические осадки его фундаментов значительно (в 1,8 раз) превышают осадки от статической нагрузки, их необходимо учитывать при проектировании зданий и сооружений на весь нормативный срок его службы.

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Итоговые результаты расчета накопленных динамических осадок фундамента от транспортной вибрации за 50 лет в осях 1–4…А–В

№ исследуемого слоя i	Мощность исследуемого слоя i в активной зоне фундамента	Пригружаемое давление в середине слоя i, σ_{pi}, МПа	Ускорение в уровне подошвы фундамента a, м/с^2	Динамическая осадка в слое i по (1) Sgi, см	Осадка от ссатическаязой нагрузки S, см	Накопленная динамическая осадка за период эксплуатации S_{gt}, см	S_{gt}/S
1	0.5	0.3	0.025	0.009	6.0	10.8	1.8
2	0.3	0.2		0.0025			
3	0.3	0.1		0.002			

Выводы

Учет накопленной за 50 лет виброосадки по предложенной выше методике показал, что она оказалась почти в 2 раза больше статической осадки, определенной по [3; 5], и превысила ее допускаемые значения для жилых зданий. Это привело к аварийному состоянию здания и обусловило необходимость капитального ремонта объекта

Литература

1. Кудрявцев, И.А. Влияние вибрации на основания сооружений / И.А. Кудрявцев. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 247 с.
2. Опыт изучения поля вибрации на территории города с целью оценки состояния геологической среды / В.И. Гурвич [и др.] // Инженерная геология. – 1991. – № 6. – С. 110 – 119.
3. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254-2012 / М-во архит. и стро-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2012.
4. Фундаменты плитные. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-67-2007 / М-во архит. и стро-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2007. – 144 с.
5. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.012-2004 / АО «НИЦ КД», 2004. – 20 с.
6. Taniguchi, E. Prediction of earthquake-induced deformation of earth dams / E. Taniguchi, P.V. Whitman, W.A. Warr // Soil and Foundation. – 1983. – V. 23, № 4. – P. 126 – 137.

УДК 624.131

Вишняков Н.Н.; Кремнев А.П., канд. техн. наук, доц.
(ПГУ, г. Новополоцк)

АНИЗОТРОПИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИН ОЗЕРНО-ЛЕДНИКОВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Вопрос совершенствования методов и повышения точности теоретических расчетов оснований и фундаментов зданий и сооружений всегда был одной из важнейших задач механики грунтов. Именно в плоскости совершенствования методов расчета и лежит резерв повышения надежности проектируемых сооружений и уменьшения расходов на возведение фундаментов и земляных сооружений.

С другой стороны, совершенствование методов расчета без совершенствования методов определения физико-механических характеристик грунтов с учетом их фундаментальных свойств теряет всякий смысл. К таким фундаментальным свойствам грунтовой среды в первую очередь относят дилатансию и анизотропию [1].

Еще Н. А. Цытович предполагал, что анизотропией должны обладать грунты с ярко выраженной слоистой текстурой. Определенный всплеск исследований по данному вопросу отмечался в середине прошлого столетия. Многие исследователи стали выделять деформационную, фильтрационную и прочностную анизотропию, а также анизотропию некоторых специфических свойств: набухание, теплопроводность, скорость распространения волн и т.д. Как правило, авторами исследовался какой-либо один вид анизотропии. Наиболее широко исследовалась деформационная и фильтрационная анизотропия. Имеются также работы, посвященные анизотропии прочностных свойств грунтов [2],которые свидетельствуют, что анизотропией обладает большинство грунтовых отложений, и поэтому анизотропия в грунтах скорее правило, чем исключение.

В данной работе приводятся результаты исследования анизотропии прочностных свойств ленточных глин озерно-ледникового происхождения, широко распространенных на севере Беларуси. Исследуемые грунты обладают выраженной анизотропией, обусловленной условиями их формирования. Эти образования относятся к периоду поозерского ледника. Они формировались в приледниковых озерах, являющихся аккумуляторами тонкообломочного материала [3].

Анизотропия рассматриваемых отложений обуславливается, во-первых, слоистой текстурой грунтов, связанной с сезонным поступлением

обломочного материала и, во-вторых, преобладающей ориентацией частиц грунта, которые, как показывают исследования [3], располагаются большей осью параллельно горизонту.

Таким образом, озерно-ледниковые отложения и в особенности ленточные глины в большинстве своем имеют плоскость (направление) слоистости, обусловленную условиями формирования данных грунтов. То есть данные грунты можно рассматривать как трансверсально-изотропную среду, в которой прочностные характеристики грунтов будут различаться в зависимости от угла наклона плоскости слоистости к плоскости сдвига.

В этом случае определение прочностных характеристик может быть ограничено испытаниями грунта в двух взаимно перпендикулярных направлениях – параллельно и перпендикулярно плоскости слоистости.

Определение удельного сцепления и угла внутреннего трения проводилось методом одноплоскостного среза и в стабилометре по схеме одноосного сжатия при различной ориентации плоскости сдвига и направлении слоистости. Все испытания, отбор проб и обработка результатов были выполнены в соответствии с действующими нормативными документами.

Отбор образцов для испытания на одноплоскостной срез проводилось в кольца диаметром 70 мм и высотой 35 мм либо на месте из залегания, либо из монолитов, привезенных в лабораторию. Образцы отбирались в двух взаимно перпендикулярных направлениях, то есть вдоль и поперек плоскости слоистости. Затем образцы подвергались предварительному уплотнению в компрессионном приборе с нормальными напряжениями 01, 0.2, 0.3 МПа. После наступления стабилизации образцы испытывались в сдвиговом приборе по консолидированно-дренированной схеме.

Отбор образцов для одноосного сжатия проводился по такой же схеме, как и для одноплоскостного среза, то есть параллельно и перпендикулярно плоскости слоистости. Размер образцов составлял 38 мм – диаметр, 76 мм – высота. При испытании фиксировалась разрушающая вертикальная нагрузка, также проводилось фотографирование образцов после испытания. За разрушение образцов принималось либо моментальный сдвиг одной части образца относительно другой, либо достижение общей относительной деформации образца 0.15.

На одноосное сжатие было испытано 24 образца – 12 при горизонтальном расположении плоскости изотропии (слоистости) и 12 при расположении плоскости изотропии перпендикулярно горизонту.

Графики, построенные по результатам испытаний на срез по фиксированной плоскости, показаны на рисунке 1. Общий вид образцов после испытаний представлен на рисунке 2.

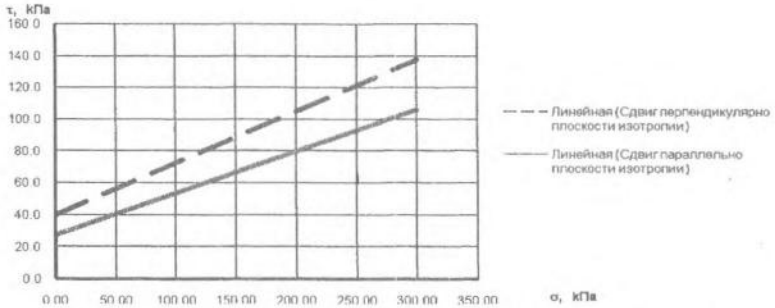


Рис. 1. Определяющие зависимости при срезе по фиксированной плоскости

Направление слоистости: Параллельно

Направление слоистости: Перпендикулярно

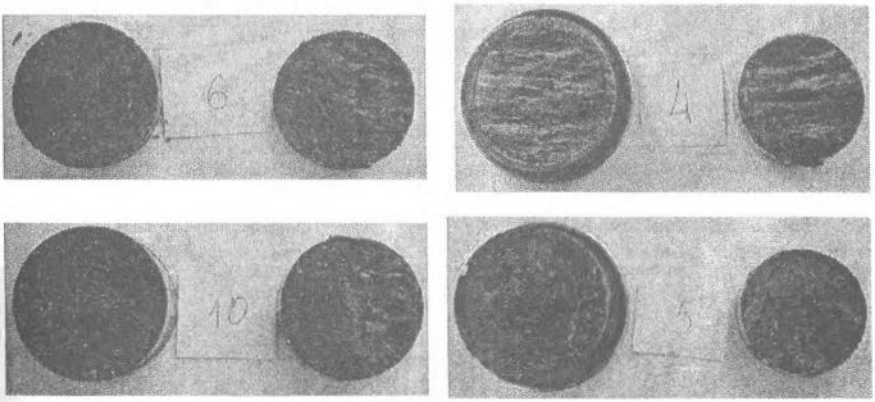


Рис. 2. Образцы ленточной глины после испытания на одноплоскостной срез

После обработки полученных данных методом наименьших квадратов были получены следующие значения прочностных характеристик:

– при сдвиге параллельно плоскости слоистости угол внутреннего трения $\varphi = 14.7^0$, $c = 27.5$ кПа;

– при сдвиге перпендикулярно плоскости слоистости угол внутреннего трения $\varphi = 18°$, $c = 40$ кПа.

Таким образом, при срезе параллельно плоскости изотропии удельное сцепление на 31 %, а угол внутреннего трения на 18 % меньше, чем при срезе перпендикулярно плоскости изотропии.

Наиболее характерные зависимости, полученные в ходе испытания грунта на одноосное сжатие, приведены на рисунке 3. Вид образцов после испытаний представлен на рисунке 4.

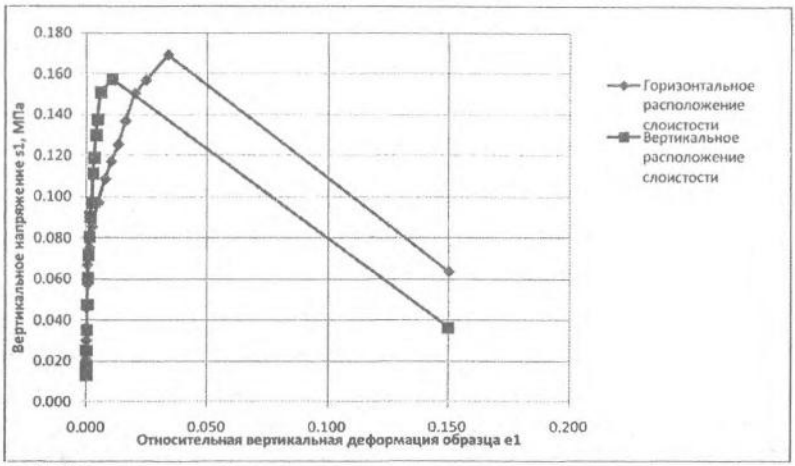


Рис. 3. Характерные графики, полученные при испытании глин на одноосное сжатие



Рис. 4. Характерные образцы ленточной глины после испытания на одноосное сжатие

Проанализировав результаты испытаний на одноосное сжатие, можно сделать **вывод,** что при ориентации плоскости слоистости перпендикулярно оси действия сжимающей нагрузки предел прочности на сжатие на 11 % больше, чем при параллельной ориентации.

Разрушение образцов в первом случае происходило по классической схеме разрушения изотропных материалов. Во втором случае наблюдалось расслаивание образца по более слабым песчаным прослойкам.

Полученные в ходе исследований данные свидетельствуют: прочностные характеристики ленточных глин в значительной степени зависят от ориентации плоскости сдвига по отношению к плоскости изотропии, что необходимо учитывать при разработке методики расчета оснований и фундаментов и особенно фундаментов распорных сооружений, а также при расчете устойчивости откосов.

Литература

1. Соболевский, Д.Ю. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта / Д.Ю. Соболевский. – Минск: Навука і тэхніка,1994. – 232 с.
2. Бугров, А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений / А.К. Бугров, А.И. Голубев. – СПб.: Недра, 1993. – 245 с.
3. Павловская, И.Э. Полоцкий ледниково-озерный бассейн: строение, рельеф, история развития. – Минск: Навука і тэхніка, 1994. – 128 с.

УДК 624.138+624.154

Сеськов В.Е., канд. техн. наук, доц.;
Кравцов В.Н., канд.техн.наук; Якуненко С.А.
(Институт «БелНИИС», г. Минск)

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ, ВЕРТИКАЛЬНО АРМИРОВАННЫХ ГРУНТОБЕТОННЫМИ МИКРОСВАЯМИ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ

Применяемые в настоящее время виброударные технологии упрочнения грунтов (укатка, трамбовка) при строительстве на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями отличаются ограниченной областью применения, повышенной затратностью, трудоемкостью и, как правило, не отвечают критерию экономической эффективности.

Учитывая это, в РУП «Институт БелНИИС» предложен способ упрочнения оснований плитных фундаментов методом вертикального армирования грунта мелкозаглубленными сваями уплотнения: забивными ма-

лого сечения (до 200 мм) и набивными в пробитых скважинах. Предложенный способ устройства упрочненного основания отличается от известных технологий универсальностью (применимостью для различных грунтовых и гидрогеологических условий), индустриальностью, возможностью использования имеющегося в строительных организациях республики стандартного оборудования [1].

Для изучения совместной работы указанных геомассивов и плитных фундаментов, отработки технологии и оборудования для устройства армоэлементов из свай уплотнения, накопления опытных данных для разработки методов проектирования в РУП «Институт БелНИИС» выполнен комплекс лабораторных и натурных исследований заявленных решений геомассивов в различных грунтовых условиях.

Часть результатов выполненных исследований приведена далее в данной статье

1. Лабораторные исследования оснований, упрочненных вертикальным армированием

Исследования геомассивов лабораторными методами проводились с использованием плоского лотка, маломасштабных армоэлементов и соответствующего оборудования (рис. 1, 2) с целью изучения: а) *характера работы и деформирования* вертикально нагруженных геомассивов из различных групп армоэлементов переменной длины и шага (см. рис. 2); б) *оценки размеров сжимаемой зоны* по глубине и вдоль боковых поверхностей для различных групп армоэлементов; в) *несущей способности геомассивов* в зависимости от способа устройства армоэлементов, типа и свойств грунта.

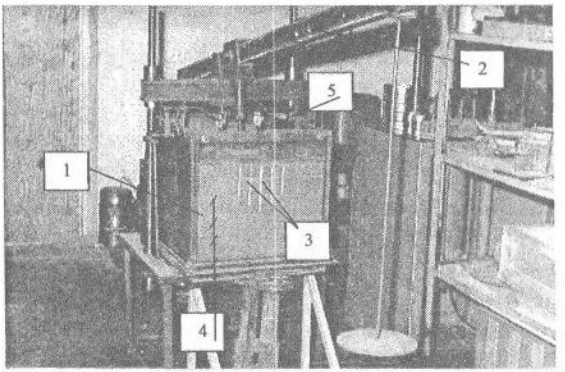


Рис. 1. Общий вид испытательного стенда в процессе испытания модели геомассива:
1 – лоток с прозрачной стенкой; 2 – рычажное устройство для загрузки штампа (фундамента);
3 – модели армоэлементов; 4 – контрольные меловые полосы;
5 – индикатор часовой для замера осадок

В опытах применялись модели из деревянных армоэлементов круглого сечения масштаба 1:10 – 1:20 с площадью поперечного сечения 2 – 4 см^2 и общей длиной до 300 мм. Это обеспечивает геометрическое подобие работы железобетонных свай длиной до 5м и сечением до 30×30 см (ø30 см) в лотке и в натуре. Механическое подобие обеспечено шероховатостью материала модели, статическое – коэффициентом жесткости $E_c = E_z/A$, где E_c, E_z, A – соответственно модули деформации (упругости) армоэлемента, грунта и площадь поперечного сечения сваи. Вертикальная нагрузка на штамп (модель фундамента) прикладывалась рычажным устройством, загружаемым тарированными грузами. Геомассив в лотке формировался послойной отсыпкой и уплотнением соответствующего грунта (песок, супесь, суглинок) между армоэлементами. Деформирование основания устанавливалось фиксированием искажений меловых полос, выполненных при устройстве геомассива, до опыта имеющих параллельное очертание. Осадки замеряли на каждой ступени загружения с точностью до 0,01 мм индикаторами часового типа (см. рис. 1). Исследовано семь типов геомассивов (см. рис. 2) по вариантам *а – в* с трехкратной повторяемостью опыта.

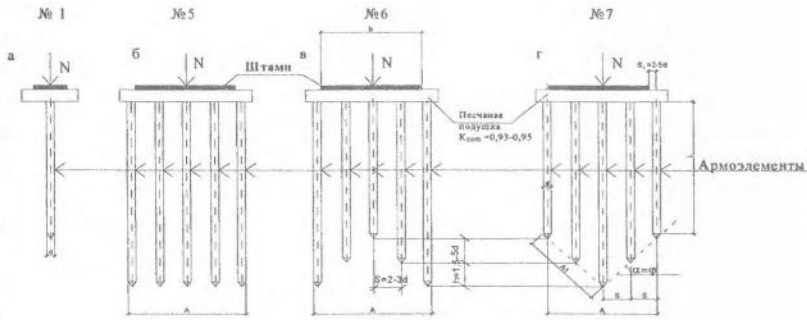


Рис. 2. Типы исследованных геомассивов и их параметры:
а – контрольный одиночный элемент № 1;
б – геомассив № 5 с положением концов армоэлементов в одном уровне по глубине основания;
в – то же № 6, с убыванием отметок их концов от краев к центру;
г – то же № 7, с убыванием отметок концов от центра к краям геомассива;

A, A_1 – опорные площади армоэлементов при горизонтальном (в одном уровне) и конусном их расположении по глубине основания; $\alpha = \varphi$ – угол сбега конуса убывания армоэлементов по глубине, равный углу внутреннего трения грунта; S – шаг армоэлементов; S_1 – расстояние выхода армоэлемента за пределы контура фундамента (штампа); d – диаметр, большая сторона армоэлемента; b – размер (ширина) штампа; h – расстояние между смежными концами армоэлементов; N – нагрузка на фундамент (штамп); L – длина армоэлемента

Анализ результатов лабораторных исследований показывает, что заявленный при постановке темы тип геомассива (вариант № 7 на рис. 2) позволяет достичь максимального технического результата устройства армоэлементов как в песчаных, так и в глинистых грунтах: максимальное повышение несущей способности и снижение осадок, материалоемкости, трудоемкости изготовления фундамента за счет конусного расположения нижних концов армоэлементов, убывающих по глубине. Это позволяет значительно увеличить опорную площадь A_1 (см. рис. 2) передачи на основание нагрузки от фундамента ($2A_1 > A$) и равномерно распределить ее по глубине геомассива и, как следствие, уменьшить концентрацию напряжений, момент, эксцентриситет нагрузки и осадку штампа (фундамента).

Кроме того, указанные выше признаки – армоэлементы переменной длины и наличие демпфирующей прослойки из инертных материалов между ними и подошвой фундамента – обеспечивают повышение жесткости основания и снижение колебаний фундамента от геодинамических нагрузок до 20 % по отношению к неармированному основанию, а также материалоемкости и трудоемкости изготовления геомассивов и фундаментов.

Установлено, что геомассив № 7 (см. рис. 2) наиболее эффективен при устройстве армоэлементов в шахматном порядке под подошвой модели фундамента с шагом $2 – 6d$ (где d – диаметр сваи) с выходом за его пределы $2 – 5d$ и убыванием концов с перепадом по глубине под углом $\alpha = \varphi$ (но не менее $h = 1{,}5d$) от центра к краям фундамента, и отсыпке демпфирующей прослойки из инертных материалов (например песка среднего, песчано-гравийной смеси и др.), уплотненной до коэффициента уплотнения $K_{com} \geq 0{,}97$.

2. Полевые исследования оснований, упрочненных вертикальным армированием грунта

Экспериментальные натурные исследования вертикально армированных геомассивов выполнены с целью проверки результатов лабораторных исследований.

Ниже дан пример результатов испытаний элементов геомассивов вертикальной статической нагрузкой, выполненных на строительной площадке возводимого гипермаркета в районе пересечения ул. Казинца и МКАД. В качестве модели фундамента применена жесткая стальная плита размером 1×1 м. Основанием фундаментов по данным изысканий служит супесь лессовидная с исходным модулем деформации E = 11 МПа. Штамповка скважин производилась бураздвижным способом лидером-раскатчиком ø100 мм, навешенным на буровую установку ПБУ-2. Скважины заполнялись грунтобетонной смесью (изготовленной непосредственно на площадке) с соотношением песок: цемент (марка М500) - 5:1 согласно [2 – 4]. Геомас-

сив выполнялся по варианту № 7 (см. рис. 2) двух типов – с законтурным армированием и без него (рис. 3); также испытывался неупрочненный грунт. Диаметр свай (d) по расчету для данных условий – 10 см, шаг – 40 см ($4d$), длина свай L = 1,6 – 2,0 м. Поверх грунтобетонных свай отсыпалась подушка из песка среднего с коэффициентом уплотнения K_{com} = 0,98 мощностью 0,1 м. Испытания выполнены по методике ГОСТ 20276-99 [5]. Оборудование и установка для испытаний даны на рисунке 4, результаты испытаний – на рисунке 5.

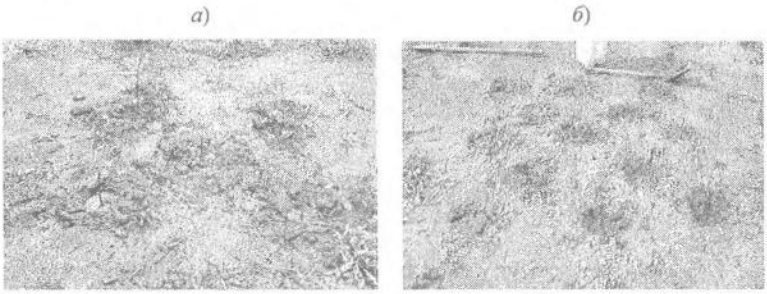


Рис. 3. Общий вид испытанных геомассивов:
а – геомассив № 7 по рисунку 2 без законтурного армирования;
б – геомассив № 7 по рисунку 2 с законтурным армированием

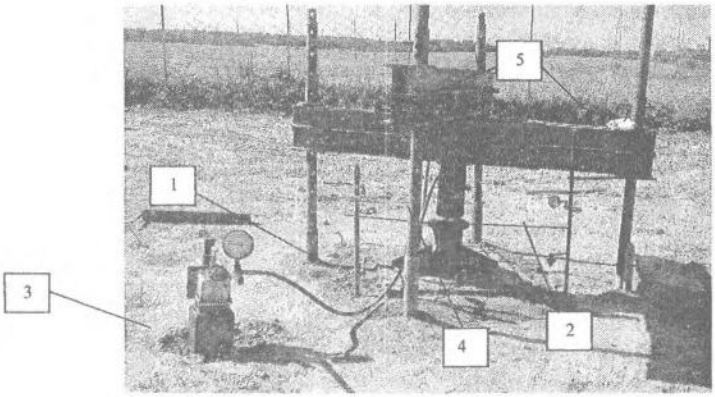


Рис. 4. Общий вид опытной площадки, оборудования
и установки для испытания геомассива:
1 – металлический опытный фундамент; 2 – реперная система с прогибомерами 6 ПАО;
3 – насосная станция; 4 – гидроцилиндр ЦГ-50; 5 – упорная балочно-анкерная конструкция

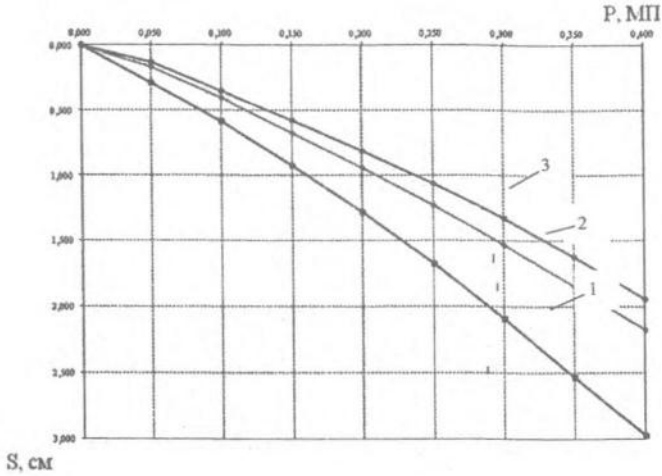


Рис. 5. Графики зависимости осадки опытного фундамента от нагрузки $S = f(P)$:
1 – результаты испытаний неупрочненного грунта (супесь лессовидная);
2 – то же, геомассива № 7 по рисунку 2 (без выхода армоэлементов за контур фундамента);
3 – то же с выходом армоэлементов за контур фундамента на 2d

Результаты полевых натурных испытаний совпадают с данными, полученными в лабораторных условиях, и подтвердили эффективность заявленного решения по упрочнению оснований плитных фундаментов методом вертикального армирования сваями переменной длины в пробитых скважинах. Анализ результатов опытов показывает, что армирование грунта по варианту № 7 на рисунке 2 привело к повышению несущей способности и снижению деформативности грунта: так, модуль деформации геомассива по варианту «*а*» на рисунке 3 составил $E_{3а}$= 15 МПа ($E_{3а}/E$ = 1,36), по варианту «*б*» – $E_{3б}$ = 17 МПа ($E_{3б}/E$ = 1,55), при исходном – E =11 МПа.

Откопка свай показала, что качество грунтобетона соответствует требованиям Рекомендаций [2 – 4]: материал однороден по длине, без пустот и раковин. При этом согласно результатам испытаний грунтобетона условия его твердения в грунте благоприятны для получения материала необходимой прочности.

Выводы

Предложен эффективный способ упрочнения грунта (геомассив) с использованием свай уплотнения для вертикального армирования грунта. Его применение позволяет снижать деформативность оснований и повышать несущую способность плитных фундаментов до 1,5 – 2 раз (в зависи-

мости от исходного состояния грунта и технологических особенностей устройства геомассива).

Литература

1. Сеськов, В.Е. Упрочнение оснований методом вертикального армирования грунтобетонными микросваями в пробитых скважинах / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, С.А. Якуненко // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. тр. науч.-техн. конф. – СПб, 2010. – С. 295 – 299.
2. Рекомендации по проектированию и устройству грунтобетонных свай в бороздвижных скважинах, Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2005. – 51с.
3. Проектирование и устройство оснований из насыпных, малопрочных и слабых грунтов методом вибродинамического уплотнения: Пособие П5-2000 к СНБ 5.01.01-99. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2000. – 29 с.
4. Проектирование и устройство техногенных массивов из песчано-гравийных и щебеночных свай: Пособие П6-2000 к СНБ 5.01.01-99. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2000. – 33 с.
5. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости: ГОСТ 20276-99. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2001. –56 с.

УДК [624.13+624.15](0,75.8)

Аль-Робай Али А.А.
(БНТУ, г. Минск)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЙМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ДИВАНИИ (РУКАВ ЕВФРАТА, РАЙОН СРЕДНЕГО ИРАКА)

1. Краткие геологические особенности региона

Бассейн Месопотамии занимает центральное место в средней и южной части Ирака. До настоящего времени он является местом опусканий и накопления четвертичных отложений. Нестабильной шельф в геологическом отношении подразделения на три зоны (месопотамская равнина, восточный предгорный рельеф с хребтами и котловинами, западная пустыня) (рис. 1). С верхнеюрско-нижнемелового времени нестабильной шельф ста-

новится преимущественно погружающейся зоной, что и обусловило стратиграфическую последовательность (формирование почти непрерывного осадочного чехла).

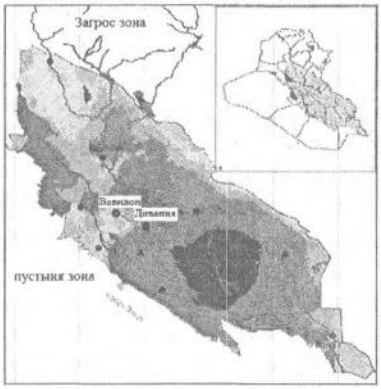


Рис. 1. Ситуационная схема района изысканий
(Точки бурения в пойме назначались в границах района будущего строительства)

2. Инженерно-геологические условия

В связи с предполагаемым проектированием и возведением строительного объекта в районе левобережной части Дивании в 2009 году были выполнены инженерные изыскания. Они включали бурение скважин, определение физических и физикомеханических характеристик, компрессионные и сдвиговые испытания.

По данным бурения в разрезе выделены два типа оснований:

– глинистая толща на глубину от 13 до 16м, подстилаемая песчаным грунтом (шесть скважины);

– слоистое основание включает ограниченные по мощности (2 – 5.5 м) пласты песчаного грунта (две скважины).

Гранулометрический состав исследованных грунтов представлен на рисунке 2. Можно заключить, что в породах преобладают глинистые фракции (содержание по массе от 32 % до 69 – 71 %), иногда суглинки легкие (от 10 до 18 %) и тяжелые (21 %), а также супеси (от 3 до 7 %).

Плотность глинистых грунтов изменяется в пределах $\rho_{гл} = 1.38 – 1.47$, а песчаных – $\rho_{песч} = 1.4 – 1.61$. Угол внутреннего трения песчаных грунтов отличается сравнительным постоянством $\varphi = 33 – 36°$, что может быть связано с однородностью транспортируемых пойменным водным потоком частиц при их седиментации. У супесей значение величины $\varphi = 28 – 29°$, а для глин его значение снижается до 8 – 12.



Рис. 2. Гранулометрический состав
(44 анализов для 8 скважин) аллювиальных пород

Удельное сцепление *C* глинистых грунтов варьируется в диапазоне от 16 до 64 кПа. Его увеличение до нескольких десятков кПа прослеживается начиная с глубин 6 – 8 м и далее. Сложившаяся ситуация может быть связана с тем, что в пылевато-глинистых грунтах прочностные свойства зависят от структурных особенностей. Они обусловливаются существованием трения между минеральными частицами и их агрегатами а также водно-коллоидными (коагуляционными и конденсационными) связями Кристаллизационные связи образуются в течение длительного времени вследствие отложения поликристаллических соединений в точках контактов минеральных частиц.

3. Прочность и деформативность грунтового основания

Естественным основанием сооружений в исследуемом регионе могут служить толщи глин (скв. 1 – 5 и 8) и песков (скв. 6 – 7). Расчетные сопротивления грунтов $R_{гр}$ определены по формуле В.1 Приложения В СНБ 5.01.01-99. На рисунке 3 показаны значения величины $R_{гр}$ для грунтов оснований фундаментов шириной от 0.6 до 5 м при глубине заложения подошвы от 1 до 5 м.

Верхняя толща четвертичных отложений поймы р. Дивании формировалась, главным образом, как осадок транспортируемых малоскоростным потоком глинистых частиц (до 71 % по массе). Поверхностная активность минеральных частиц обусловила образование коллоидных (электромолекулярных) связей уже в процессе седиментации и формирование перемещающихся вниз вместе с отдельными частицами коагуляционных агрегатов (слипшихся сгустков). Поэтому плотность глинистых пород относительно невысокая $\rho = 1.39 – 1.61$. Показатели удельного сцепления в этих условиях доминируют и достигают значений $C = 40 – 70$ кПа, а угол внутреннего трения $\varphi = 6 – 13°$.

По данным компрессионных испытаний модуль общей деформации пылевато-глинистых грунтов оценивается значениями E = 1.6 – 1.9 МПа. Подсчитанная по методу послойного суммирования вероятная осадка фундаментов достигает предельных значений уже при контактных давлениях порядка 100 кПа (рис. 4).

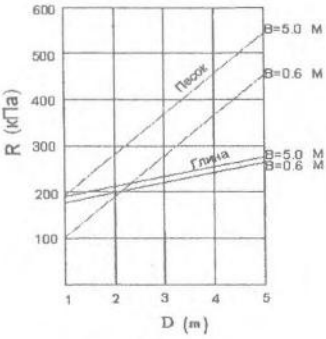


Рис. 3. Расчетное сопротивление грунтов

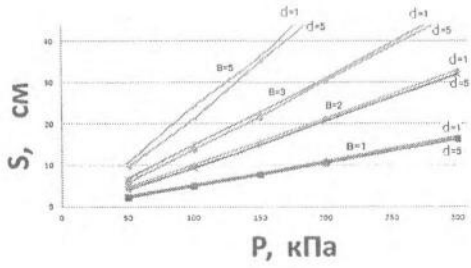


Рис. 4. Зависимость осадки основания от контактного давления

При проектировании и устройстве фундаментов шириной до нескольких метров расчетное сопротивление R_{zp} ориентировочно оценивается диапазоном R_{zp} = 120 – 190 кПа для глинистых и R_{zp} = 170 – 280 кПа для песчаных грунтов (см. рис. 3). Разработка строительных котлованов сопровождается снятием природного (от собственного веса) давления грунта на уровне дна. В связи с этим при высотной привязке следует учитывать возможность разбухания (увеличение в объеме за счет упругих деформаций пленочной воды) глинистого грунта, особенно в срединной части котлована. При работе строительных машин и механизмов следует ограничивать (снижать интенсивность) ударных и вибрационных воздействий в связи с возможностью тиксотропного разжижения глинистого грунта.

Выводы

1. При проектировании ленточных и плитных (отдельных) фундаментов под стены и колонны (опоры) зданий и сооружений следует ограничиваться контактным давлением p = 80 – 110 кПа.

2. При необходимости передачи на основание значительных сосредоточенных нагрузок в связи с высокой деформативностью следует применять фундаменты глубокого заложения.

3. При поведении инженерно-геологических изысканий разведочное бурение необходимо выполнять до глубины 40 – 60 м (для нескольких скважин).

УДК 629.15+624.131:725.9+539.301

Клебанюк Д.Н.; Дроневич А.Ю.;
Шведовский П.В., канд. техн. наук, проф.;
Пойта П.С., докт. техн. наук, проф.
(БрГТУ, г. Брест)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ УПЛОТНЕНИИ НЕОДНОРОДНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ТЯЖЁЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ

В соответствии с [1] расчёты напряжённо-деформированного состояния (НДС) грунтов оснований при уплотнении их тяжёлыми трамбовками рекомендуется производить по этапам итерационным методом, используя механическую модель линейно-деформируемого и однородного грунтового основания. Неоднородность грунтов в зоне уплотнения учитывается посредством средних значений для каждого слоя толщиной $0{,}2d_{mp}$, с последующим определением модуля общей деформации каждого слоя по результатам компрессионных испытаний.

Однако решение задачи о распределении напряжений в неоднородных грунтовых средах можно базироваться и на других принципах.

Наиболее простым является приведение неоднородного массива к эквивалентному слою через коэффициенты распределительной способности ν [2]

$$h_э = h_1 \cdot \sqrt{\frac{\nu_1}{\nu_2}} + h_2 \cdot \sqrt{\frac{\nu_2}{\nu_n}} + \ldots + h_{n-1} \cdot \sqrt{\frac{\nu_{n-1}}{\nu_n}}, \qquad (1)$$

где $h_1, h_2, \ldots, h_n$ – толщины неоднородных слоёв; $\nu_1, \nu_2, \ldots, \nu_n$ – коэффициенты распределительной способности для 1, 2, …n слоёв грунтового массива.

Более сложным является принцип задания определённых условий на границах неоднородных слоёв, обеспечивающих равновесие по доминирующему направлению, что позволяет описать распределение напряжений одной функцией с различными параметрами структуры [2]:

$$S_{zz} = S_{zz_1} \cdot \left(1 - \frac{E_1}{E_2} \cdot \sqrt{\frac{\nu_1}{\nu_2}}\right) + S_{zz_2} \cdot \left(1 - \frac{E_2}{E_3} \cdot \sqrt{\frac{\nu_2}{\nu_3}}\right) + \ldots + S_{zz_{n-1}} \cdot \left(1 - \frac{E_{n-1}}{E_n} \cdot \sqrt{\frac{\nu_{n-1}}{\nu_n}}\right) + S_{zz_n}, \qquad (2)$$

где E_i – модули деформации слоёв грунта.

Однако эти принципы применимы при уплотнении слоистых грунтовых оснований и не учитывают локальную неоднородность (прослойки, линзы, включения и др.).

Исследованиями [3; 4] и в ряде других отмечено, что как грунты, так и грунтовые массивы и уплотнение основания являются классическими об-

разцами стохастических природных фрактальных объектов, у которых формирование структуры, а соответственно и плотности, в основном определяется степенью сохранения постоянного объёма и контакта между структурными элементами (частицами).

Процесс уплотнения грунтов как зернистой среды можно описать тремя стадиями с различными механизмами консолидации. Для первой стадии характерна роль упругой разгрузки, при этом вероятность сохранения контактов меньше вероятности их образования, т.е.

$$\alpha = \theta^2 \cdot (\Delta\theta / p_0),$$

где α – контактное сечение и $\alpha = E/E_к$; E – модуль упругости грунта, отнесённый к номинальной площади поперечного сечения; $E_к$ – модуль упругости, отнесённый к критическому сечению $\alpha_к$; $\Delta\theta = \theta - \theta_0$; θ – относительная конечная плотность сухого грунта; θ_0 – относительная начальная плотность сухого грунта; $в$ – показатель степени потерь контактов $в > 1$.

Для второй стадии вероятность образования, сохранения и потери контактов равновероятны ($в$=1), а для третьей $\Delta\theta/p_0 \longrightarrow 1$, а $в \to 0$, т.е. вероятность сохранения контактов приближается к единице.

Описать весь этот процесс уплотнения неоднородных дисперсных систем наиболее достоверно можно одним параметром структуры – фрактальной размерностью [3]. Приняв за основу соответствующие структуры – для песков (зернистая с кубической упаковкой сферических частиц по системе 20×80), супесей (сложная по системе 40×80), суглинков (сотообразная по системе 80x80), глины (хлопьевидная по системе 100×100), – определена зависимость фрактальной размерности $D = f(\theta)$ от относительной начальной плотности грунтов (рис. 1).

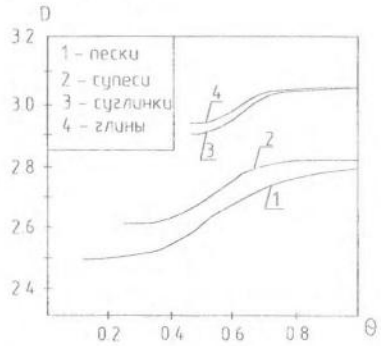


Рис. 1. Зависимость фрактальной размерности от относительной начальной плотности грунтов

Так как однородная структура является предельным состоянием уплотненных грунтов, то описание процесса уплотнения целесообразно базировать не на уровне средних значений структурных характеристик, а на законах их распределения и в первую очередь законах распределения плотности и давлений на грунт в зоне уплотнения.

Выделим на расстоянии h от границы зоны уплотнения один слой частиц, который содержит n частиц и каждая из которых имеет Z_i контактов с соседними частицами.

Характеризуя площадки контактов вектором площади S_{ij}, модуль которого равен площади контактной площадки, а направление совпадает с направлением положительной нормали к её плоскости, величина общей площади проекции всех контактных площадок для удерживающих контактов на плоскость, перпендикулярную к направлению сил давления, может быть определена по зависимости:

$$S(x) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{Z_i} S_{ij} \cdot \cos\varphi_{ij} \,, \tag{3}$$

а с учётом того, что φ изменяется от 0 до $\pi/2$, то средняя по ориентациям площадок соответственно получим:

$$S(x) = 2\pi \cdot Z \cdot S/n, \tag{4}$$

где S – средний размер площадки контакта; Z – среднее число опорных контактов одной частицы в расчётном слое.

Число частиц определим, используя интегральный закон распределения относительной плотности во фрактальных кластерах с переходом к конечным разностям:

$$n = S_H(\rho_k \cdot h_k - \rho_{k-1} \cdot h_{k-1}), \tag{5}$$

где S_H – номинальная площадь сечения уплотняемого массива.

В соответствии с теорией численных методов для получения функции ρ_h по h второго порядка точности имеем [3; 4]:

$$n = S_H(\rho_k \cdot h_k - \rho_{k-1} \cdot h_{k-1})/2 \,. \tag{6}$$

Переходя от конечных разностей к непрерывной функции и продифференцировав выражение (5), получим:

$$n = S_H(D + d + 1) \cdot \rho, \tag{7}$$

и соответственно для локальной относительной плотности

$$\theta(h) = (D - d) \cdot \rho, \tag{8}$$

где d – топологическая размерность пространства.

С учётом граничных начальных условий $\theta = \theta_0$, $D = D_0$, $\alpha = \alpha_0 > 0$ для любого момента уплотнения имеем:

$$D = d + 1/[1 + \ln(\theta_0/h_0)/\ln\theta]. \tag{9}$$

Неравномерность в распределении упругих свойств при неоднородности структуры можно учесть, используя закон Гука, являющийся по структуре также фракталом, в виде

$$d\sigma = F(h)dh/h_0. \tag{10}$$

Так как критическое контактное давление уплотнения в дифференциальной форме может быть записано в виде:

$$dp_c = (1 - \mu)d\sigma, \tag{11}$$

где μ – коэффициент межчастичного трения, проведя соответствующие подстановки и преобразования, получаем

$$dp_c/p_c = \beta(1 - \mu) \cdot \alpha(x) \cdot E(h) \cdot dh/E_m \cdot h, \tag{12}$$

где β – коэффициент пропорциональности; E_m – модуль упругости грунта при $\theta = 1$.

Интегрируя уравнение (11) с учётом условия $p_c = p/a$ для критических краевых условий при $p = p_k$, $\theta = \alpha_k = 1$, $E = E_m$ имеем:

$$p(h) = p_k\alpha(h)\exp\{\varepsilon_k(1 - \mu)/p_k \cdot h_k[\int \alpha(h) \cdot E(h) \cdot dh - E_m \cdot h]\}, \tag{13}$$

откуда зависимость для определения площадей контактных сечений принимает вид:

$$\alpha(h) = \theta^2(h) \cdot [1 - (d - D)\ln\theta(h)/(d - D_0)\ln\theta_0(h)], \tag{14}$$

где E_m – модуль упругости грунта.

По полученному алгоритму были рассчитаны теоретические зависимости плотности грунта от величины давления $\theta = f(p/p_{kp})$ и модуля упругости от плотности $E/E_m = f(\theta)$ (рис. 2).

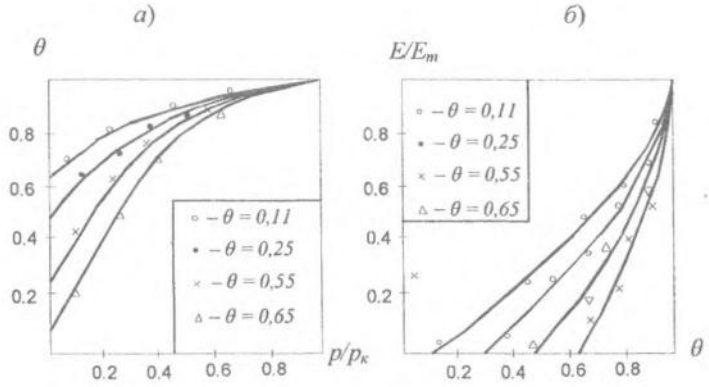


Рис. 2. Графики зависимости плотности грунта от давления (*а*) и модуля упругости от давления (*б*)

Учитывая соотношение площадей контактного сечения в предельном и исходном состоянии

$$S_n(h)/S_h = (1-\varphi_c)\cdot\theta(h) \tag{15}$$

и введя предел прочности уплотнения, при соответствующих условиях создания дополнительного давления, имеем:

$$\sigma(h) = \sigma_k \cdot \alpha(h)\cdot\theta(h), \tag{16}$$

где $\sigma_k = (1-\mu)\cdot(1-\varphi_c)\cdot\sigma_n(h)$.

На рисунке 3 приведены теоретические графики зависимости относительной прочности грунта от формируемой плотности и относительного давления.

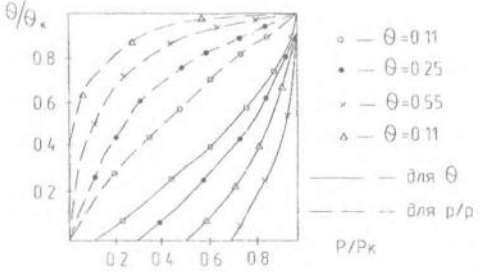


Рис. 3. Графики зависимости относительной прочности грунта от формируемой плотности θ и относительного давления p/p_k

Выводы

На начальных стадиях уплотнения прочность грунта возрастает незначительно, что обусловлено восприятием предельной нагрузки в целом не всей структурой, а только самым ослабленным контактным сечением.

Определяющими факторами процесса уплотнения являются начальная плотность и характер изменения структуры.

Однородность структуры грунта в зоне уплотнения может быть достигнута увеличением начальной (исходной) плотности сухого грунта, при этом оптимальное значение начальной плотности для песчаных грунтов не менее 15 кН/м^3, а для пылевато-глинистых – 14,5 кН/м^3.

Литература

1. Грунтовые основания, уплотнённые тяжёлыми трамбовками. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-107-2007 (02250). – Введ. 08.09.2008. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 33 с. Технический кодекс установившейся практики.
2. Кандауров, И.И. Механика зернистых сред и её применение в строительстве / И.И. Кандауров, Л.: Стройиздат, 1998. – 281 с.
3. Кулак, М.И. Фрактальная механика материалов / М.И. Кулак. – Минск, Высш. шк., 2002. – 304 с.
4. Лиштван, И.И. Влияние фрактальной неоднородности структуры на деформационно-прочностные свойства агрегатов торфяных систем / И.И. Лиштван, Б.А. Богатов, М.И. Кулак // Коллоидный журнал. – 1998. – Т 54, № 4. – С.107 – 111.
5. Хорошун, Л.П. К теории изотропного деформирования упругих тел со случайными неоднородностями / Л.П. Хорошун // Прикладная механика, 1967. – Т. 3., вып.9. – С. 14 – 19.
6. Новиков, В.В. К определению эффективных модулей упругости материалов / В.В. Новиков // ПМТФ. – 1985. – № 5 – С. 146 – 153.
7. Бердичевский, В.Л. Вариационные принципы механики сплошной среды / В.Л. Бердичевский. – М.: Наука, 1983. – 250 с.

УДК 624.138.9

Банников С.Н., канд. техн. наук, доцент
(БНТУ, г. Минск)

УСТОЙЧИВОСТЬ АРМИРОВАННЫХ ГРУНТОВЫХ ПОДУШЕК

При строительстве на слабых грунтах, с целью исключения выпора грунта из-под сооружения и повышения несущей способности основания в настоящее время в качестве оснований очень эффективно использовать армированные песчаные подушки.

Проведенные эксперименты позволили установить, что несущая способность оснований может быть значительно повышена путем устройства горизонтальных слоев из армирующих элементов.

Оптимальное расстояние, на котором должен быть уложен верхний слой армирующего материала, составляет 1/4 ширины фундамента. Опыты также показали, что несущая способность увеличивается с увеличением числа слоев армирующего материала. При этом обнаружено, что потеря устойчивости основания происходит по трем основным схемам:

– при большом проценте армирования (более четырех слоев) происходит разрыв армирующих элементов верхних слоев;

– вторая схема потери устойчивости связана со скольжением армирующих элементов относительно грунта основания, в результате чего происходит вдавливание штампа в основание;

– в третьем случае происходит выпор грунта из зоны, расположенной между штампом и верхним слоем армирования (такое явление наблюдалось в тех случаях, когда верхний слой армирования располагался на расстоянии 3/4 ширины приложения нагрузки от штампа).

Несущая способность армированной подушки определяется [1; 2]:

1) устойчивостью призмы ACD (см. рис. 1, *а*);

2) прочностью армирующих элементов на разрыв;

3) сопротивлением сдвигу грунта по армирующим элементам.

Задавшись числом армирующих элементов и разбив армированную зону на отдельные блоки (рис. 1, *б*) составили систему уравнений (1) необходимую для решения поставленной задачи:

$$\overline{A} \times \overline{N} = \overline{C}, \qquad (1)$$

где

$$A = \begin{bmatrix} \sin(\beta-\varphi) & -\mu & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ -\cos(\beta-\varphi) & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin(\beta-\varphi) & -\mu & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\cos(\beta-\varphi) & -1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin(\beta-\varphi) & -\mu & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\cos(\beta-\varphi) & -1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & \sin(\beta-\varphi) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & -\cos(\beta-\varphi) \end{bmatrix}; N = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ P_u \\ N_4 \\ N_5 \\ N_6 \\ \vdots \\ N_{2k+1} \\ N_{2k+2} \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} E_{n1} \\ G_1+Q \\ E_{n2} \\ G_2 \\ E_{n3} \\ G_3 \\ \vdots \\ E_{n2k+1} \\ G_{2k+2} \end{bmatrix}.$$

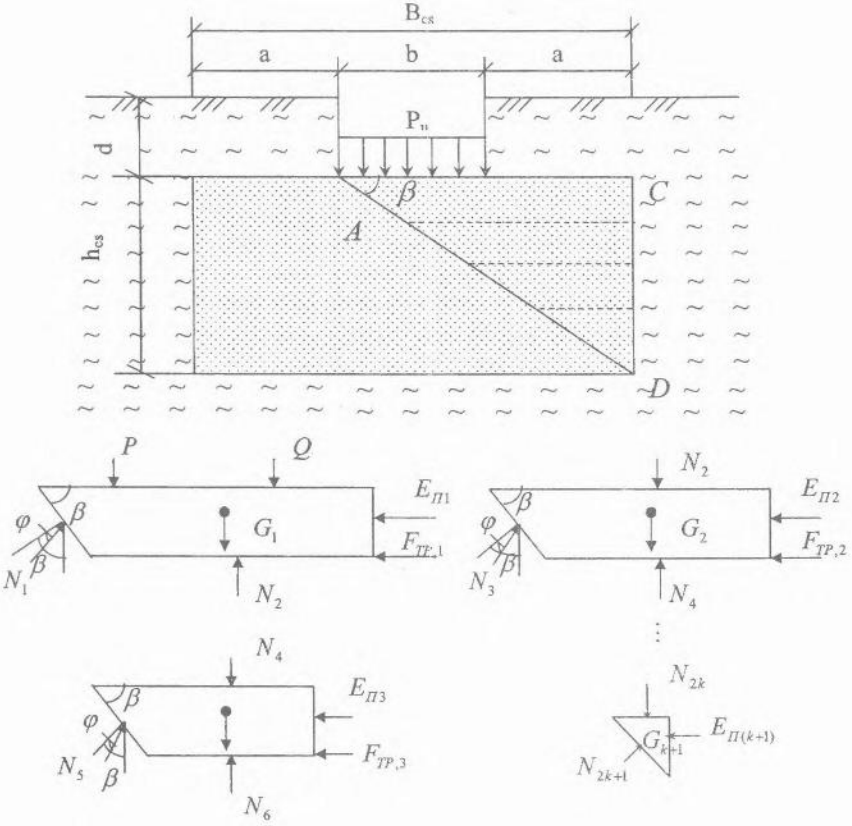


Рис. 1. Расчетные схемы песчаной подушки

где

$Q = \gamma_o d$ – боковая пригрузка, заменяющая грунт на длине уширения подушки;

d – глубина заложения фундамента;

E_{n1}, E_{n2}, E_{n3},…, E_{nk} – составляющие горизонтального активного давления слабого грунта на вертикальную грань;

h_{cs} – высота грунтовой подушки;

$G_1, G_2, G_3, \ldots, G_k$ – собственная масса сдвигающейся части;

P – сосредоточенная нагрузка на уровне подошвы фундамента;

$N_1, N_2, \ldots, N_{2k+2}$ –силы реакции грунта;

φ_{cs} – угол внутреннего трения материала подушки;

γ_o, γ_{cs} – удельный вес заменяемого грунта и материала подушки;

B_{cs} – ширина грунтовой подушки;

β – угол наклона поверхности скольжения призмы ACD;

$X = b + a$ – горизонтальный размер призмы обрушения;

b – ширина приложенной нагрузки;

a – ширина пригрузки;

$F_{тр1}, F_{тр2}, F_{тр3}, \ldots, F_{трk}$ – силы трения армирующих элементов;

k – число блоков, на которое разбивается сдвигаемый массив грунта;

t – ширина армирующих элементов в горизонтальной плоскости;

m - количество полос на 1 п. м;

$\Delta h = 0{,}25b$ – шаг армирования;

Ψ – коэффициент трения грунта по арматуре.

Решая полученную систему, нашли величину предельной нагрузки:

$$P_u = P_{u,неарм} + P_{u,TP}, \qquad (2)$$

где

$$P_{u,неарм} = \frac{\gamma y^2}{2b} tg\beta \left[\frac{y\,tg\beta + 2d}{y\,tg(\beta - \varphi)} - \frac{2d\,a}{y^2 tg\beta} - \frac{\gamma_{cs}}{\gamma} \right];$$

$$G_i = \frac{\gamma_{cs} b}{4} \left[\left(x - \frac{i\,b}{4\,tg\beta} \right) + \frac{b^2}{32\,tg\,\beta} \right];$$

$$P_{u,TP} = \frac{t}{\sum_{i=1}^{k} l_i} \left[\sum_{i=1}^{k} E_{ni} ctg\,(\beta - \varphi) - \sum_{i=1}^{k} G_i - qa \right] tg\,\psi;$$

$$E_{ni} = \frac{\gamma b}{4} \left[d + \frac{(2i-1)}{8} b \right];$$

$$l_i = b + a - \frac{i\Delta h}{tg\beta}; \qquad x = \Delta h / tg\beta; \qquad \mu = 2\ t\ m\ tg\psi;$$

Используя полученные выше формулы, нами была разработана программа для определения устойчивости армированных грунтовых подушек. С помощью данной программы был проведен анализ устойчивости армированных, грунтовых подушек (результаты приведены в таблице). Была изучена роль таких параметров, как угол внутреннего трения грунта подушки (φ), коэффициент трения грунта по арматуре (μ), коэффициент анизотропии подушки ($n = E/E_3$), количество уровней армирования, ширина подушки ($B_п$), высота подушки ($h_п$).

Значения предельной нагрузки для армированной подушки при четырех уровнях армирования устроенную на мягкопластичной глине с $J_L = 0{,}65$, φ = 15°, E = 18 МПа, c = 17кПа

Коэффициент анизотропии E/E_3	Число уровней армирования K	Высота подушки H_{cs}, м	Уширение подушки от ундамента а, м	Предельная нагрузка P_{pr}, кПа	β°
1	2	3	4	5	6
φ = 30°					
1	0	4.830	2.99	356.539	40.79
2	4	4.160	2.81	3311.874	39.00
5		3.520			
10		3.140			
15		2.950			
20		2.850			
φ = 32°					
1	0	4.830	3.31	479.487	42.55
2	4	4.160	3.17	4194.177	41.27
5		3.520			
10		3.140			
15		2.950			
20		2.850			
φ = 34°					

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
1	0	4.830	3.67	646.830	44.28
2	4	4.160	3.55	5314.461	43.37
5		3.520			
10		3.140			

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
1	0	4.830	3.67	646.830	44.28
2	4	4.160	3.55	5314.461	43.37
5		3.520			
10		3.140			
15		2.950			
20		2.850			
$\varphi = 36°$					
1	0	4.830	4.06	876.332	46.00
2	4	4.160	3.97	6759.253	45.35
5		3.520			
10		3.140			
15		2.950			
20		2.850			
1	2	3	4	5	6
$\varphi = 38°$					
1	0	4.830	4.51	1193.777	47.71
2	4	4.160	4.43	8647.374	47.24
5		3.520			
10		3.140			
15		2.950			
20		2.850			
$\varphi = 40°$					
1	0	4.830	5.00	1637.059	49.40
2	4	4.160	4.94	11145.721	49.07
5		3.520			
10		3.140			
15		2.950			
20		2.850			

Из полученных данных видно, что с увеличением коэффициента анизотропии n от 1 до 20 высота подушки уменьшается в 1,5 раза, а предельная нагрузка увеличивается в 4 и более раз. С увеличением угла внутреннего трения грунта подушки φ и коэффициент трения грунта по арматуре μ от 30 до 40° предельная нагрузка увеличивается 1,5 – 2 раза.

Литература

1. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б.И. Далматов. – Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.
2. Мораескул Н.Н. Основания и фундаменты в торфяных грунтах / Н.Н. Мораескул. – Л.: Стройиздат, 1979. – 80 с.

УДК 624.1+624.131

Шведовский П.В., канд. техн. наук, проф.;
Пойта П.С., д-р техн. наук, проф.; Клебанюк Д.Н.
(БрГТУ, г. Брест)

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ И УЧЕТА ИЗМЕНЧИВОСТИ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ИХ УПЛОТНЕНИИ

В нормативных документах по поверхностному уплотнению грунтов тяжелыми трамбовками [1], а также научно-технической литературе [2 – 5] не содержится конкретных рекомендаций по учету как вертикальной, так и горизонтальной изменчивости инженерно-геологических условий стройплощадок и характеристик уплотнённых грунтов при изменении их структуры.

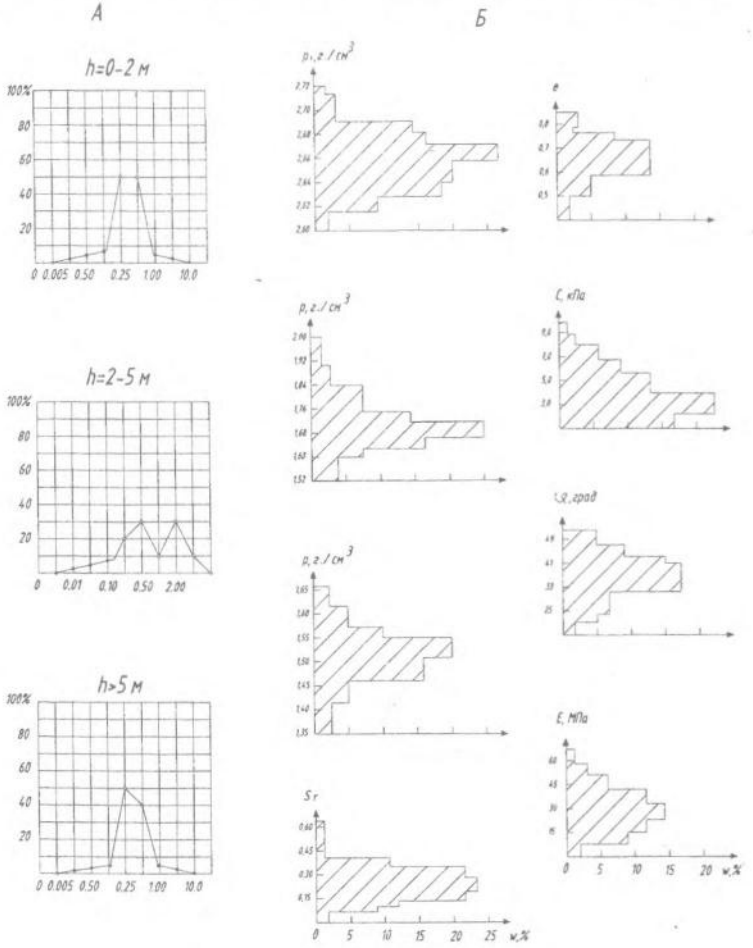
Так как оптимизация энергетических и материально-финансовых затрат обусловливает необходимость учета всех факторов, влияющих на предельную глубину, характер и степень уплотнения основания: конструктивно-технологических (масса и форма основания трамбовки, высота сбрасывания, число ударов, расстояния между отпечатками, число этапов повторного уплотнения и т.п.); геотехнических (физико-механических свойств грунтов, структуры, особенностей их залегания и т.д.), то достоверно оценить прогнозируемые значения прочностных и деформационных параметров уплотненного грунта, без анализа изменчивости их свойств, практически невозможно.

Следует отметить, что в проектной практике расчетные характеристики грунтов являются средними величинами, независимо от устойчивости в пространстве их средних значений и дисперсий. А ведь в случае относительного постоянства по площади и по разрезу средних значений, при сильно изменяющихся дисперсиях, эффективно использование нормативных характеристик грунтов, но уже при сильно варьирующих средних значениях и более устойчивых характеристиках локальной неоднородности (дисперсии) их использование зачастую приводит к большим погрешностям в расчетах.

По инженерно-геологическим отчётам более чем для пятидесяти строительных площадок в г. Бресте и Брестской области были построены интегральные кривые гранулометрического состава и графики распределения (рисунок), позволившие сформировать гистограммы распределения характеристик строительных свойств песчаных грунтов. Их анализ позволяет отметить, что локальная изменчивость характеристик уплотненных

грунтов подчиняется нормальному или логнормальному распределению, т.е. они являются случайными стохастическими величинами.

Это позволяет для оценки отклонений характеристик строительных свойств уплотненных грунтов от нормативных (средних) значений, которые можно выразить через дисперсию, рассматривать их как функцию положения и времени комплекса факторов для стохастических, стационарных в широком смысле, процессов в любой точке строительных площадок.



Интегральные кривые грансостава (А)
и графики распределения значений характеристик (Б) песчаных грунтов

То есть если $Д = f(\overline{Д_\phi})$, а $П = \varphi(\overline{П})$ – случайные функции ($Д$ – деформационные, $П$ – прочностные характеристики уплотненных грунтов), сформировавшиеся под воздействием случайных факторов, то их среднее значение определяется математическим ожиданием [7]:

$$Д_\phi = H(\beta)Д_\phi^0(t), \tag{1}$$

где $H(\beta)$ – коэффициент случайного воздействия комплекса факторов; β – дисперсионная постоянная и при $\beta \to 0$ $H(\beta) \to 1$, а при $\beta \to \infty$ $H(\beta) \to 0$.

Выражая дисперсию уравнением

$$\sigma^2(t) = E[h^2(x(t),t)] - \{E[h(x(t),t)]\} \tag{2}$$

и представляя члены выражения через характеристические функции для стохастического стационарного процесса, имеем [7]:

$$\sigma^2(t) = V(\beta)[Д_\phi^0(t)]^2, \tag{3}$$

при этом $V(\beta) = 0$ при $\beta = 0$, достигает максимума $V(\beta) = 0.141$ при $\beta = 1.12$ и $V(\beta) \to 0$ при $\beta \to \infty$.

Отсюда дисперсия изменения деформационно-прочностных характеристик от случайного влияния факторов –

$$\sigma^2(Д_\phi^i) \le 0.141Д_\phi \text{ и } \sigma^2(П_i) \le 0.141П_i. \tag{4}$$

Расчеты также показывают, что при оценке характеристик уплотненных грунтов необходимо обосновывать и устанавливать доверительные пределы $Д_\phi^i$, а не использовать их средние значения, как делается в инженерной практике. Это обуславливает необходимость более чем 30-кратного определения $Д$ даже по площади распространения одного вида грунта (доверительная вероятность 95 %), что практически невыполнимо. Поэтому в основу оценки изменчивости свойств уплотненных грунтов должны ложиться как минимум два положения: первое – свойства определяются характером исходных грунтов и условиями их образования, а также характером последующих видоизменений; второе – распределение показателей не должно противоречить нормальному закону или, по крайней мере, приводиться к нормальным несложным преобразованием.

Рассмотрим особенности решения этой задачи, базируясь на создании формализованной модели неоднородного уплотненного грунтового массива, интерпретируя набор признаков-свойств, как точки $\vec{x_i}$ в p-мерном

евклидовом пространстве (p – число признаков), где каждая точка $\overline{x_i} = \{x_{1i}, x_{2i}, ..., x_{pi}\}$ соответствует одному экспериментальному определению этого набора. Такая интерпретация согласно [7] очень удобна и позволяет привлечь к решению задачи существующие методы классификации многомерных наблюдений: факторного анализа, кластер-анализа и т.п.

Анализ построенных гистограмм (кривых плотностей неоднородных распределений) показал, что на основании свойств формализованной модели [7] физико-механические характеристики уплотненных грунтов в пределах неоднородных массивов можно определить, как выборку из конечного набора p -мерных нормальных распределений с плотностью

$$f(x) = \sum_{q=1}^{r} \alpha_q \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_q} \cdot \exp\left[\frac{-(x-a_q)^2}{2\sigma_q^2}\right], \qquad (5)$$

где r - число однородных нормальных совокупностей (число однородных элементов в массиве); α_q – доля q-й совокупности.

Выделить однородные составляющие, имеющие такую плотность распределения, можно через построение гистограмм, являющихся эмпирическим аналогом плотности $f(x)$ вспомогательной функции [7]:

$$\psi(x_j) = \ln q(x_{j+1}) - \ln q(x_j) \quad (j = 1,2,...m-1). \qquad (6)$$

При этом во всех случаях разнесение индивидуальных значений по нормальным совокупностям порождает необходимость «геометрического» расчленения уплотненного грунтового массива, которое можно использовать и для вычисления прогнозных характеристик, определяемых данным свойством грунта.

Очевидно, однако, что в некоторых случаях следует ожидать весьма «пестрого» расположения квазиоднородных элементов в уплотненном массиве, которое невозможно учесть предложенными методами. В таких случаях приемлемо его расчленение по каждому из свойств отдельно с последующим сопоставлением результатов.

Однако нужно помнить, что полученные оценки параметров нормальных составляющих можно использовать лишь для процедуры выделения квазиоднородных элементов в уплотненном массиве, а нормативные и расчетные значения характеристик следует вычислять стандартными методами после его расчленения.

Выводы

Проведенные исследования показывают, насколько важно для проектной практики выявление взаимосвязей характеристик грунтов с комплексом формирующих факторов и их изменчивостью хотя бы с доверительной вероятностью не менее 75 %.

При этом достаточно эффективным приемом определения достоверных расчетных значений характеристик грунтов является выделение однородных составляющих и квазиоднородных элементов в грунтовых массивах, что позволяет локальную изменчивость строительных свойств грунтов описать с высокой достоверностью простыми статистическими методами, так как распределение показателей большинства характеристик подчиняется нормальному или логнормальному законам распределения.

Литература

1. Грунтовые основания, уплотнённые тяжёлыми трамбовками. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-107-2007 (02250). – Введ. 08.09.2008. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 33 с. Технический кодекс установившейся практики.
2. Бондаренко, Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород / Г.К. Бондаренко. – М.: Недра, 1971. – 198 с.
3. Боровко, Н.Н. Статистический анализ пространственных закономерностей / Н.Н. Боровко. – Л.: Недра, 1971. – 273 с.
4. Бондарик, Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород / Г.К. Бондарик. – М.: Геолиздат, 1971. – 206 с.
5. Бусел, И.А. Прогнозирование строительных свойств грунтов / И.А. Бусел. – Минск: Наука и техника, 1989. – 219 с.
6. Родионов, Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков / Д.А. Родионов. – М.: Недра, 1968. – 206 с.
7. Шведовский, П.В. Особенности оценки и прогноза изменчивости строительных свойств грунтов геомассива в пределах строительных площадок / П.В. Шведовский, П.С. Пойта, Д.Н. Клебанюк // Вестн. БрГТУ – 2012. – № 1 (73): Строительство и архитектура. – С. 82 – 85.

УДК 624.138.03

Пчелин В.Н., доц.; Юськович В.И., канд. техн. наук, доц.;
Друшиц Д.В.
(БрГТУ, г. Брест)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛУБИННОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА РАБОЧИМ ОРГАНОМ С ВИНТОВОЙ ЛОПАСТЬЮ

Одним из наиболее важных этапов при строительстве зданий и сооружений является уплотнение грунтов для увеличения их несущей способности, сдвигоустойчивости и уменьшения сжимаемости, водопроницаемости. Нередко в строительстве возникает необходимость уплотнения грунта на большой глубине, в этом случае наиболее широко используются сбрасываемые с высоты 5 – 6 м, трамбующие плиты, которые обеспечивают глубину уплотнения до 5,5 – 6 м при их массе 10 т (см. [1], с. 103).

Однако применение тяжелых трамбовочных средств сопряжено с опасностью для подземных и наземных конструкций, затруднено в стесненных условиях и характеризуется невысокой производительностью.

Исключить динамическое воздействие и обеспечить высокую производительность позволяет винтовое продавливание спиралевидными снарядами в грунте скважин с последующим заполнением их грунтом (см. авт. св. СССР N1086106). В данном случае винтовые лопасти предназначены только для уменьшения необходимого осевого напора и практически не участвуют в непосредственном уплотнении грунта вследствие их малого вылета относительно корпуса, что определят небольшие размеры уплотняемой зоны грунта.

Увеличить в 2 – 3 раза размеры в плане зоны уплотняемого грунта позволяет разработанный в Брестском государственном техническом университете способ глубинного уплотнения грунта, для реализации которого используется рабочий орган в виде цилиндрического ствола с винтовой лопастью наконечником в нижней части [2]. В этом случае уплотнение грунта происходит в два этапа. На первом этапе грунт уплотняется в процессе завинчивания рабочего органа в грунт, который раздвигается, уплотняясь, стволом и винтовой лопастью, при этом в грунте образуются скважина и винтовая полость. На втором этапе производится вывинчивание рабочего органа с периодическим его осаживанием. В процессе осаживания грунт сдвигается вниз и, дополнительно уплотняясь, заполняет скважину и винтовую полость, что приводит к образованию окончательной зоны уплотнения грунта. Однако диаметр полученной зоны уплотнения не превышает

диаметра лопасти, что снижает эффективность известного способа. Снижению эффективности уплотнения грунта способствуют также значительные энергозатраты на обрушение грунта и заполнение им образующейся при вывинчивании рабочего органа скважины.

Для увеличения диаметра зоны уплотненного грунта и снижения энергозатрат на уплотнение в УО БрГТУ разработано новое устройство [3], содержащее рабочий орган *1* в виде трубчатого корпуса *2* с винтовой лопастью *3* и коническим наконечником *4* в нижней части (рис. 1). Наконечник *4* выполнен в виде теряемого башмака.

Для снижения сил трения между грунтом и корпусом *2* последний выполнен из верхней *5* и нижней *6* частей, причем диаметр верхней части 5 меньше диаметра нижней части 6 не менее чем на 4 – 8 мм, а лопасть *3* крепится к нижней части *6* корпуса *2*. Винтовая лопасть 3 должна иметь не менее полутора оборотов в плане и крепится к корпусу *2* под острым углом α к образующим корпуса в сторону его оголовка, причем угол α принимается из соотношения:

$$\alpha < 90 - arctg(f), \qquad (1)$$

где f коэффициентом трения материала лопасти по грунту.

Благодаря указанному углу при осаживании рабочего органа грунт раздвигается в стороны, увеличивая диаметр зоны *7* уплотняемого грунта.

Радиус лопасти *3* принимается из соотношения:

$$R_л = (2-5)\, r_ц, \qquad (2)$$

где $r_ц$ – радиус цилиндрического корпуса.

Угол подъема витков лопасти должен быть не более arctg (*f*) для того, чтобы при осаживании рабочего органа *1* грунт раздвигался в стороны, а рабочий орган *1* при взаимодействии лопасти *3* с грунтом не завинчивался в него.

При уплотнении грунта вначале в грунт на расчетную отметку завинчивают рабочий орган *1* посредством приложения к оголовку корпуса *2* осевого вдавливающего усилия и крутящего момента с вращением по часовой стрелке (рис. 1, *а*), при этом грунт из-под наконечника 4, уплотняясь, отжимается в стороны от корпуса *2*. Уплотнение грунта при завинчивании рабочего органа *1* производится также винтовой лопастью *3*, после прохождения которой в грунтовом массиве остается винтовая полость *8*.

После погружения на расчетную отметку, превышающую проектную отметку на толщину уплотняемого слоя H_0 (рис. 1, *б*), производят вывинчивание рабочего органа 1 ступенями (рис. 1, *в*) с параллельным заполнением малосжимаемым грунтом *10* образующейся при вывинчивании сква-

жины *11* посредством засыпки грунта *10* в полость *12* корпуса *2*, при этом наконечник *4* остается в грунте.

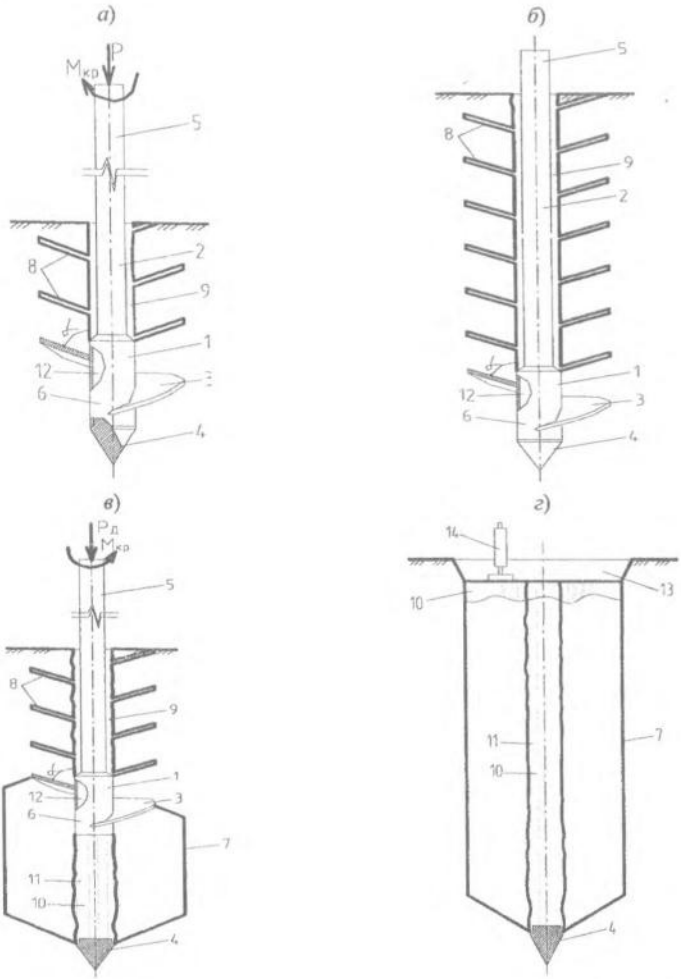


Рис. 1. Последовательность операций глубинного уплотнения грунта с осаживанием рабочего органа при его вывинчивании:
1 – рабочий орган; 2 – корпус; 3 – винтовая лопасть; 4 – теряемый конический наконечник; 5 – верхняя часть корпуса; 6 – нижняя часть корпуса; 7 – зона уплотняемого грунта; 8 – винтовая полость; 9 – зазор; 10 – малосжимаемый грунт; 11 – скважина; 12 – полость корпуса; 13 – выемка; 14 – трамбовка

Вначале каждой из ступеней к оголовку корпуса *2* прикладывают направленную вниз осевую нагрузку $P_д$ (динамическую ударную или вибрационную), обеспечивающую уплотнение грунта. При этом благодаря прикреплению лопасти *3* под углом **α** к образующим корпуса *2* в сторону его оголовка, принимаемым из соотношения (1), увеличивается объем взаимодействующего с лопастью *3* грунта и происходит скольжение последнего по наклонной поверхности лопасти *3* (раздвижка лопастью *3*) в радиальном направлении от оси к периферии, т.е. обеспечивается образование зоны уплотнения *7* диаметром, значительно превышающим диаметр лопасти *3* (рис. 1, *в*).

Осаживание рабочего органа производят вначале каждой из ступеней вывинчивания на величину Δh_k, принимаемую из выражения:

$$\Delta h_k \geq \max\left\{\begin{array}{l}\left(1-\gamma/\gamma_{упл}\right)\pi\cdot R_л^2\cdot H_{k-1}\cdot m/(\pi\cdot R_л^2-\pi\cdot r_ц^2)+\Delta h_{k-1}\\ H_{k-1}\cdot V_л\cdot m/\left(\pi\cdot R_л^2\cdot t-\pi\cdot r_ц^2\cdot t\right)+\Delta h_{k-1}\end{array}\right\}, \quad (3)$$

где k – порядковый номер ступени вывинчивания; γ – плотность скелета грунта до его уплотнения; $\gamma_{упл}$ – необходимая плотность скелета грунта после уплотнения; H_{k-1} – высота «$к$ – 1» ступени вывинчивания (на первой ступени принимается $H_О$); m – коэффициент, учитывающий расширение грунта в стороны (m = 1,15 – 1,3); $V_л$ – объем однооборотного участка лопасти.

Верхнее выражение в фигурных скобках формулы (3) определяет минимальную величину осаживания, обеспечивающую необходимую плотность скелета грунта, а нижнее – обеспечивающую полное заполнение сдвигаемым грунтом винтовой полости *8*.

Высота каждой из ступеней вывинчивания принимается в зависимости от вида уплотняемого грунта, плотности его скелета и характера динамической нагрузки $Р_д$.

Перед вывинчиванием рабочего органа на первую ступень (рис. 1, *б*) посредством его осаживания на $\Delta h1$ уплотняется грунт с ненарушенной структурой на участке $H_О$, в этом случае при определении Δh_1 по (3) принимают Δh_{k-1} и нижнее выражение в фигурных скобках (3) равным нулю, так как на указанном участке полостей в грунте нет и грунт ниже этого участка не уплотняется.

В процессе вывинчивания рабочего органа *1* с его осаживанием осевой нагрузкой в грунте образуется уплотненная зона 7 с оседанием грунта.

На заключительном этапе, после полного вывинчивания рабочего органа *1*, в образовавшуюся в грунте в результате его уплотнения выемку *13* подсыпается слоями малосжимаемый грунт *10* с его уплотнением трамбовками *14* (см. рис. 1, *г*).

Степень уплотнения грунта может регулироваться высотой ступеней вывинчивания (целесообразно принимать равной 2 – 5 шагам винтовой лопасти 3), величиной и характером динамической нагрузки $P_д$, объемом и углом наклона α винтовой лопасти 3, диаметром нижней части корпуса *2*.

Выполнение наконечника *4* в виде теряемого башмака позволяет обеспечить заполнение малосжимаемым грунтом *10* образующейся при вывинчивании рабочего органа *1* скважины *11* посредством засыпки грунта *10* в полость *12* корпуса *2*. Прикрепление винтовой лопасти *3* под острым углом α к образующим корпуса в сторону его оголовка, принимаемым из соотношения (1), обеспечивает увеличение на 15 – 30 % диаметра уплотняемой зоны *8* грунта, за счет отжатия грунта при его взаимодействии с лопастью *3* в направлении от центральной части к периферии и увеличения объема грунта, на который передается ударная нагрузка при осаживании рабочего органа *1*. В совокупности вышесказанное определяет повышение эффективности глубинного уплотнения грунта.

Предлагаемое устройство для глубинного уплотнения грунта защищено патентом Республики Беларусь на изобретение № 7828 [3].

Литература

1. Неклюдов, М.К. Механизация уплотнения грунтов / М.К. Неклюдов. – М.: Стройиздат, 1985. – 168 с.
2. Способ глубинного уплотнения грунта: пат. 3940 Респ. Беларусь, МКИ E 02D 3/00, 3/046, 5/56. / В.Н. Пчелин, И.В. Губаревич, В.Н. Черноиван, А.В. Щербач; заявитель Брест. гос. техн. ун-т.; заявл. 14.04.98; опубл. 30.06.01 // Афіцыйны бюл. – 2001. – № 2. – С. 134.
3. Устройство для глубинного уплотнения грунта: пат. 7828 Респ. Беларусь, МКИ E 02D 3/00, 3/046, 5/56. / В.Н. Пчелин, П.С. Пойта, С.Г. Нагурный, Д.В. Друшиц; заявитель Брест. гос. техн. ун-т.; заявл. 22.04.11; опубл. 30.12.11 // Афіцыйны бюл. – 2011. – № 6. – С. 238.

УДК 624.13.539.3

Кремнев А.П., канд. техн. наук, доц.; Поляков А.Н.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ГЕОРАДАРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ГРУНТОВЫХ НАСЫПЕЙ

Земляные насыпи широко применяются в строительной практике. Из насыпных грунтов возводят земляное полотно автомобильных и железных дорог, земляные плотины и дамбы, перемычки, площадки под некоторые промышленные объекты и т. д.

Примером наиболее широко распространенного типа насыпей является основание для автомобильных и железных дорог. Республика Беларусь обладает развитой сетью железнодорожных и автомобильных путей, которые зачастую проходят через участки с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями. На таких участках нередко происходят значительные неравномерные деформации основания, способные привести к разрушению вышележащих конструкций.

Другим типом насыпей, чувствительным к неравномерным деформациям, является искусственное основание резервуаров различных конструкций и размеров, в том числе использующихся на предприятиях химической промышленности.

Развитие значительных неравномерных деформаций, как правило, происходит из-за просадки слабых грунтов в основании насыпей, не обнаруженных на стадии предварительных инженерно-геологических изысканий. Обнаружить прослойки или линзы биогенных отложений, рыхлых песков, просадочных грунтов с использованием традиционной технологии разведочного бурения в точках, находящихся на расстоянии друг от друга на 50 – 150 м, не всегда возможно. Уменьшение расстояния между скважинами приводит лишь к значительному удорожанию работ, но в целом не решает проблему дискретности получаемых данных при изучении фактического строения грунтового основания.

Получить более достоверную схему грунтового основания возможно при включении в комплекс инженерно-геологических исследований предварительного изучения геологических условий методом георадарного зондирования.

Георадар позволяет получить непрерывную схему напластования грунтов с выделением границ между более плотными и слабыми отложениями, определить уровень грунтовых вод, установить фактическое распо-

ложение коммуникаций, выявить различного рода включения природного или техногенного характера [1 – 3].

В Полоцком государственном университете накоплен достаточно большой опыт успешного применения георадара при решении практических задач различного типа. В данной статье приводятся результаты георадарного зондирования при изучении грунтовых насыпей и их оснований.

В рамках выполнения госбюджетной темы ГБ4026 «Диагностика современных движений земной коры Беларуси по результатам геодезических и геолого-геофизических исследований» в рамках ГПОФИ «Недра Беларуси» нами были получены георадарные профили трассы автодороги Полоцк-Россоны. Для зондирования использовались антенные блоки с центральной частотой 25 МГц (неэкранированный) для глубинных исследований и 250 МГц (экранированный) для исследования верхних слоёв дорожного полотна. При исследовании были обнаружены как локальные объекты искусственного происхождения, так и примечательные геологические образования природного происхождения (предположительно палеорусло).

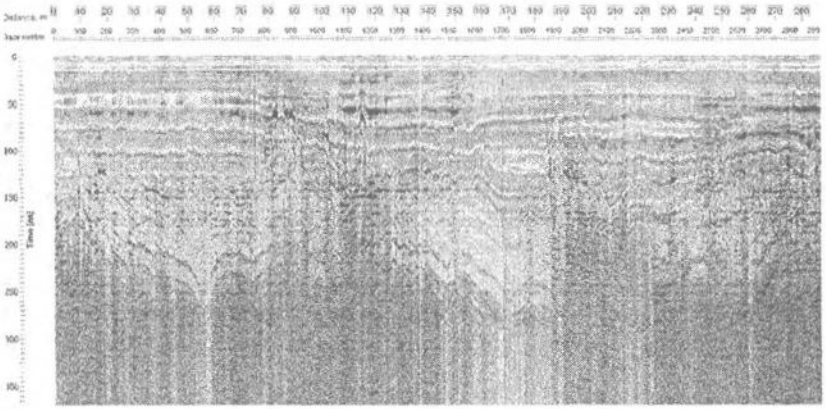


Рис. 1. Участок трассы Полоцк – Россоны (над предполагаемым палеоруслом)

Георадарное зондирование применялось для проверки качества уплотнения насыпи, используемой в качестве основания для резервуара на новой базе хранения нефти ОАО «Нафтан», г. Новополоцк. В результате обследования была выявлена прослойка некачественно уплотнённого грунта, ставшая причиной неравномерных деформаций искусственного основания резервуара и образования повреждений в железобетонном фундаменте кольцевого типа. На профиле, представленном на рисунке 2, про-

слойка неуплотнённого грунта на глубине 2.7 – 3.7 м выделяется слабой контрастностью и меньшей интенсивностью окраски.

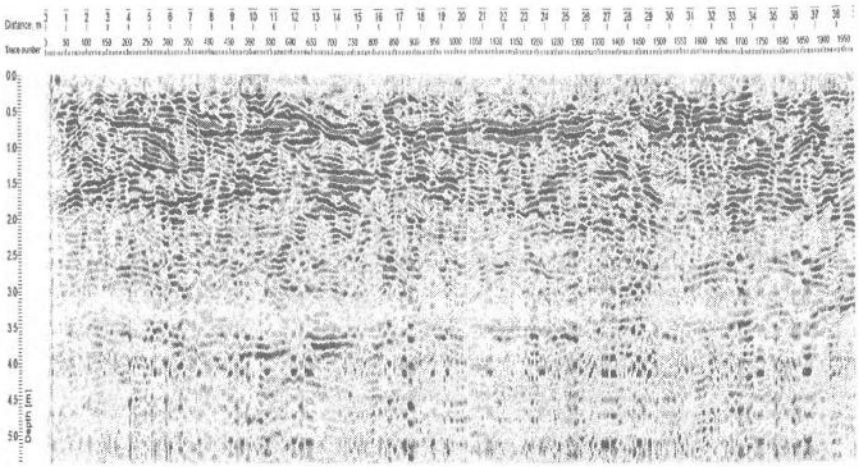


Рис. 2. Грунтовая насыпь основания резервуара

Примером использования георадарного зондирования для определения технического состояния и фактического строения железнодорожной насыпи является исследование на одном из участков перегона Верхнедвинск – Свольно. Исследование проводилось для выяснения причин возникновения постоянных неравномерных деформаций насыпи.

Для зондирования использовались антенные блоки с центральной частотой 100 МГц (неэкранированный) для исследования основания насыпи и 250 МГц (экранированный) для исследования фактического строения насыпи (рис. 3).

Георадарные профили длиной более трёхсот метров были выполнены по верху насыпи вдоль железнодорожного полотна (рис. 4).

Полученные георадаром профили были обработаны с помощью программы RadExplorer, разработанной «ДЕКО-Геофизика» (РФ). С помощью реализованных в программе инструментов обработки сигнала удалось получить качественную картину залегания отдельных ИГЭ и слоёв насыпи.

На георадарных профилях просматриваются несколько интенсивных осей синфазности, соответствующих границам между георадарными комплексами. Данные границы представляют собой раздел сред между насыпным слоем и грунтами естественного сложения, границами между слоями насыпи, границами инженерно-геологических элементов и т.д.



Рис. 3. Комплекс используемого оборудования

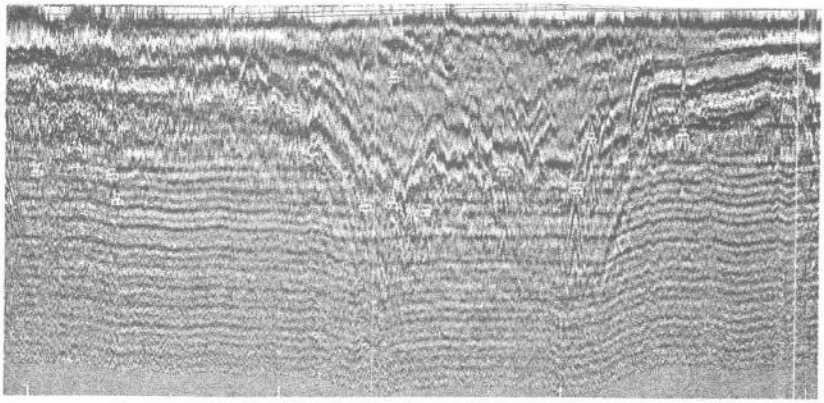


Рис. 4. Георадарный профиль железнодорожной насыпи

Внутри тела насыпи и под ней зафиксированы сигналы, которые можно идентифицировать как инженерные коммуникации различного типа (кабели, трубопровод, дренажные трубы). Кроме того, на профилях обнаружен ряд искусственных объектов неизвестного происхождения.

На профиле достаточно чётко выделяется засыпанное в процессе строительства природное понижение рельефа (возможно старое русло ручья, болото) на промежутке между пикетами 5-4 и 4-3, где и проходило проседание грунта. Были выявлены участки, характеризующиеся залегани-

ем насыпных грунтов значительной мощности, прослойки торфа в основании насыпи, установлена выраженная неравномерность напластований.

По результатам исследований были намечены места для точек статического зондирования и бурения скважин для определения фактического инженерно-геологического строения основания.

На основании полученных результатов получена модель насыпи на интересующем участке (рис. 5).

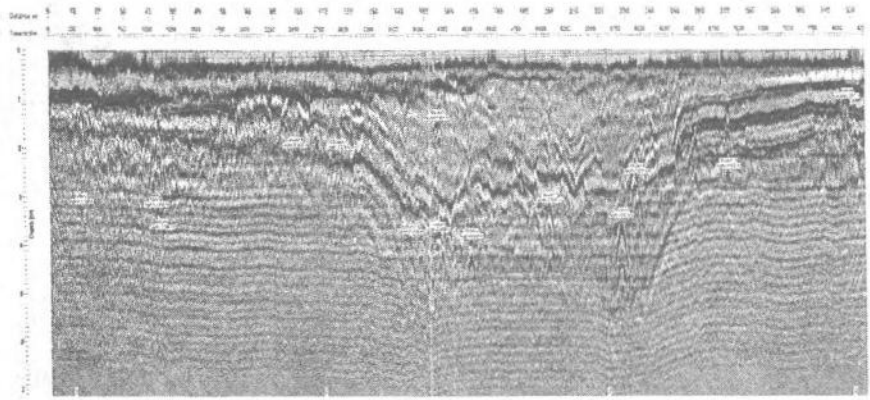


Рис. 5. Модель строения участка железнодорожной насыпи

Георадарное зондирование – метод, который позволяет оперативно получать непрерывную картину строения грунтовой среды и распространения в ней неоднородностей, а также более экономно размещать разведочные выработки в местах с наиболее выраженными из них.

Литература

1. Владов, М.Л. Введение в георадиолокацию: учеб. пособие / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – М.: Изд-во МГУ, 2004.
2. Кулижников, А.М. Георадары в дорожном строительстве / А.М. Кулижников, М.А. Шабашова. – М., 2000.
3. Макеечева, И.В. Дорожный рентген. Георадиолокационные исследования при дорожном строительстве и диагностике состояния дорог / И.В. Макеечева // Строит. техника и технологии. – 2001. – № 5. – С. 38 – 39.

УДК 624.131

КремневА.П., канд. техн. наук, доц.; Андрикович В.В.
(ПГУ, г. Новополоцк)

УСТРОЙСТВО ВИНТОВЫХ СВАЙ В ЗАЩИТНОЙ СРЕДЕ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА

Рассмотрен метод усиления фундаментов винтовыми сваями, выполняемых в защитной среде цементного раствора. На примере усиления фундамента жилого трехэтажного дома в г.п. Ушачи по улице Фрунзе показано, что данная технология позволяет выполнить сваи усиления в стесненных условиях подвальной части здания в сложных инженерно-геологических условиях, обуславливаемых высоким уровнем грунтовых вод, наличием прослоек торфа и водонасыщенных песков.

Для практикистроительства часто возникает необходимость выполнить усиления фундамента существующих зданий и сооружений путем пересадки их фундаментов на сваи. Как правило, для усиления фундаментов применяются буронабивные или буроинъекционные сваи [1]. Усиление фундаментов при помощи свай в жилых и общественных зданиях, как правило, сопряжено со значительными технологическими трудностями, связанными со стесненностью места проведения работ, невозможностью использования тяжелой техники в подвальном помещении, с высоким уровнем грунтовых вод, подтоплением места работ техногенными и талыми водами.

При проведении данного вида работ большинство технологических операций выполняется вручную. Вследствие этого отдельные этапы работ по устройству буронабивных свай сложно выполнить в соответствие с требованиями нормативных документов. Особенно это касается крепления стенок скважин при бурении, а также уплотнение забоя. Как следствие, сваи, выполненные в таких условиях, имеют очень низкую несущую способность.

Нами предлагается метод усиления фундамента с использованием винтовых свай, выполняемых в защитной среде цементного раствора. При помощи малогабаритной буровой установкивыполняется бурение скважин полыми шнеками (рис. 1, *а*). После достижения шнеком проектной отметки нижний башмак (долото) открывается и производится заполнение скважины жидким цементным раствором (в/ц 1:1) с одновременным подъемом полых шнеков (рис. 1, *б*). Цементный раствор на данном этапе выполняет функцию бурового раствора для предотвращения обрушения стенок скважин. После извлечения шнека и заполнения скважины цементным раство-

ром производят погружение винтовых свай (рис. 1, *в*). Так как глубина бурения может составлять до 5м винтовая свая собирается из отдельных секций, свариваемых между собой по мере погружения. При затруднении свободного погружения секций свая завинчивается буровым станком. После схватывания цементного раствораможно выполнить дополнительную опрессовку забоя скважины путем нагнетания цементного раствора через полость винтовой сваи или путем вращения винтовой сваи в обратную сторону, удерживая буровым станком от выворачивания (рис. 1, *г*).

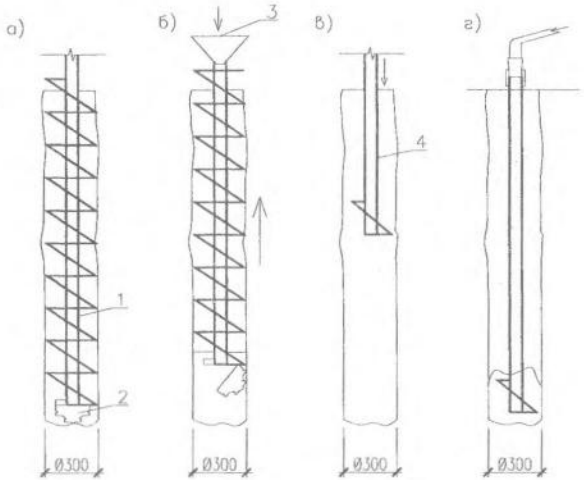


Рис. 1. Последовательность устройство сваи:
а – бурение скважины полым шнеком;
б – заполнение скважины жидким цементным раствором; *в* – погружение винтовой сваи;
г – дополнительнаяопрессовка скважины путем нагнетания цементного раствора;
1 – полый шнек; 2 – открывающийся башмак (долото);
3 – воронка для заполнения забоя цементным раствором; 4 – винтовая свая

Винтовая свая, внутренняя полость которой заполняется цементным раствором, будет работать на сжимающую нагрузку аналогично, как и трубобетонная конструкция. Раствор, окружающий винтовую сваю, после схватывания будет играть роль защитной среды, предотвращающей коррозию металла сваи.

Данный метод был применен при усилении фундамента жилого трехэтажного дома в г.п. Ушачи по улице Фрунзе. В процессе эксплуатации основание здания претерпело значительные неравномерные осадки, по-

влекшие образование повреждений в несущих стеновых конструкциях (рис. 2). Неравномерные осадки до 100 мм образовались за счет деформирования прослойки торфа, не обнаруженной на стадии проектирования.



Рис. 2. Повреждение несущих стен здания.

Усиление фундаментов было решено выполнить путем их пересадки на буронабивные сваи, выполняемые по вышеприведенной технологии. Работы производились ООО «НПФ Строитель» г. Новополоцк. Сваи устраивались вдоль наружных и внутренних стен здания. Бурение производилось полыми шнеками диаметром 300 мм при помощи малогабаритного бурового станка с электрическим приводом (рис. 3). При достижении требуемой глубины 4 – 5м через полость шнека скважина заполнялась жидким цементным раствором с добавкой пластификатора.

Первоначально предусматривалось заполнение скважины с помощью растворонасоса. Однако применение растворонасоса лишь усложнило проведение работ. В дальнейшем заполнение производилось вручную с использование ведра и воронки. В условиях подвала этот примитивный метод оказался наиболее производительным. Подъем шнеков осуществлялся по мере заполнения скважины раствором.

Погружение винтовых свай в жидкий раствор производилось путем свободного опускания с одновременным наращиванием секций при помощи сварки. С учетом времени необходимого для сварки секций погружение на глубину 5 м происходило в течение 15 – 20 минут. Поэтому погружение последних секций, как правило, происходило путем завинчивания.

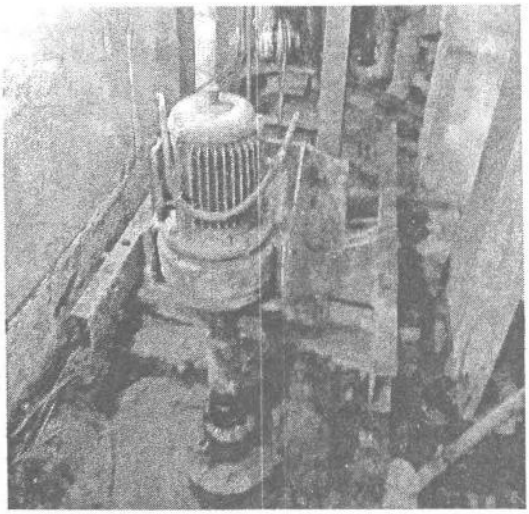


Рис. 3. Малогабаритный буровой станок с электрическим приводом

После устройства сваи выполняли частичную откопку фундамента. Далее выполнялись отверстия в ФБС диаметром 120 мм, через которые пропускали металлическую раму из швеллеров № 10, которые в свою очередь привариваются к винтовой свае. Затем устанавливались арматурные каркасы, и производилось бетонирование монолитного ростверка (рис. 4).

В процессе проведения работ было проведено испытание несущей способности сваи статической нагрузкой согласно [2; 3].

Расчетная нагрузка на сваю принята по проекту 120 кН.

В ходе испытаний нагрузка была доведена до 150 кН. Осадка сваи при данной нагрузке составила 6.29 мм.

В результате проведенной работы можно сделать следующие **выводы:**

1) при усилении фундаментов существующих зданий в сложных геологических условиях, связанных с высоким уровнем грунтовых вод и наличием слабых подстилающих слоев грунта рекомендуется применение металлических винтовых свай, выполняемых в защитной среде цементного раствора;

2) данная технология позволяет выполнить сваи в стесненных условиях подвала без использования обсадных труб. Кроме того, уплотнение забоя скважины может производиться либо за счет опрессовки забоя цементным раствором либо за счет обратного вращения винтовой сваи;

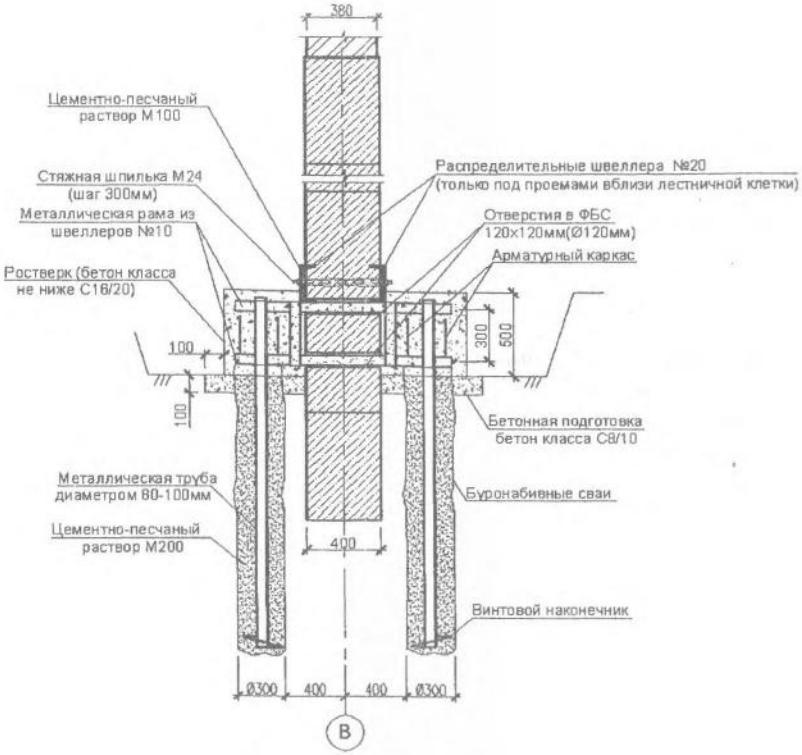


Рис. 4. Схема усиления основания

3) испытание сваи, выполненной по вышеприведенной технологии при усилении фундаментов жилого дома по ул. Фрунзе г.п. Ушачи, показало достаточную несущую способность для восприятия фактических нагрузок от конструкций здания.

Литература

1. Никитенко, М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при строительстве и реконструкции зданий и сооружений / М.И. Никитенко – Минск: БНТУ, 2007. – 580 с.
2. Методы полевых испытаний сваями: ГОСТ 5686-94.
3. Основания и фундаменты зданий и сооружений: СНБ 5.01.01 -99 / М-во архит. и стр-ва. – Минск, 1999. – 36 с.

УДК 624.154

Никитенко М.И. д-р техн. наук, проф.
(БНТУ, г. Минск)

ХАРАКТЕРНЫЕ ОШИБКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И УСТРОЙСТВЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Изложены характерные ошибки при проектировании и устройстве свайных фундаментов с учетом достоинств и недостатков, присущих разным технологиям их выполнения исходя из особенностей грунтовых условий, а также используемым схемам выполнения испытаний свай.

Введение. В традиционных решениях свайных фундаментов применяют забивные сваи, которые из-за ограниченных поперечных сечений и длин могут воспринимать вдавливающие нагрузки не более прочности по материалу. За последние годы при увеличении этажности зданий и нагрузок на фундаменты возросли объемы применения набивных свай с увеличением их диаметров и длин, а соответственно прочности по материалу и несущей способности по грунту. Однако при проектировании и устройстве свайных фундаментов зачастую возникают ошибки, что влечет за собой неэкономичность или ненадежность принимаемых геотехнических решений. Ниже остановимся на характерных ошибках и их причинах.

Новые технологии устройства свай большой несущей способности. При проектировании и устройстве буронабивных свай достичь большой несущей способности их оснований обычно стремятся за счет увеличения длин и диаметров стволов. Обычно не учитывают, что сопротивление даже однородного грунта возрастает с глубиной не пропорционально, а после 6 – 8 метров его интенсивность резко падает. Например, у песка среднего со средней плотностью сопротивление под нижним концом сваи возрастет в 1,5 раза лишь на глубине 24 м по сравнению с пятиметровой. Однако проще достичь такого отпора грунта за счет увеличения диаметра сваи в 1,25 раза, но лучше не всего ствола, а только его пяты (рис. 1).

Повышать прочность грунта можно его опрессовкой при втрамбовывании маловлажной бетонной смеси под пяту или вытеснением за счет закачки раствора или бетона. Весьма эффективны сваи при бетонировании в конических скважинах [1; 2; 5].

Достоинства конических свай заключаются в передаче на грунт сжатия по всей длине ствола, включая даже уплотняемых за счет распора насыпных грунтов между сваями при исключении негативного трения, в ограничении размеров сжимаемой толщи под нижними концами свай, не достигая на глубине слабых грунтов, включая погребенные биогенные.

Вытеснять грунт с его опрессовкой и увеличением сопротивления сжатию и сдвигу по аналогии с забивными сваями позволяет погружение обсадных труб с заглушенными нижними торцами (рис. 2). При этом исключается фильтрационное разуплотнение грунта под пятой и проникновение разжиженной массы внутрь трубы даже под водой и обеспечивается возможность бетонирования сплошного ствола по мере подъема обсадки.

а) *б*)

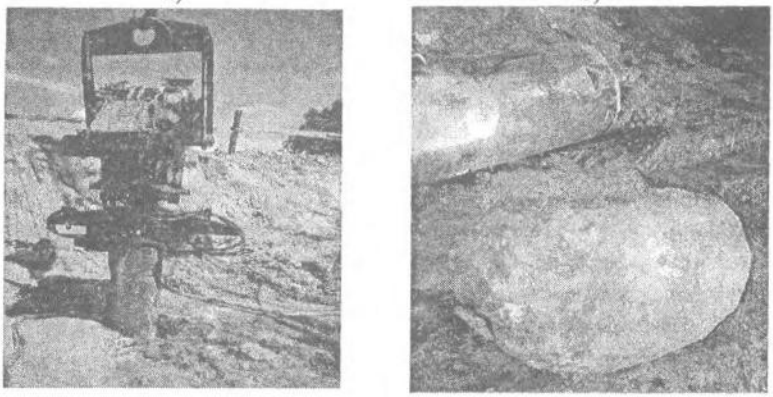


Рис. 1. Погружение стального пуансона подвесным вибратором при создании скважины для буронабивной сваи (а) и общий вид раскопанной выштампованной пяты (б)

а) *б*)

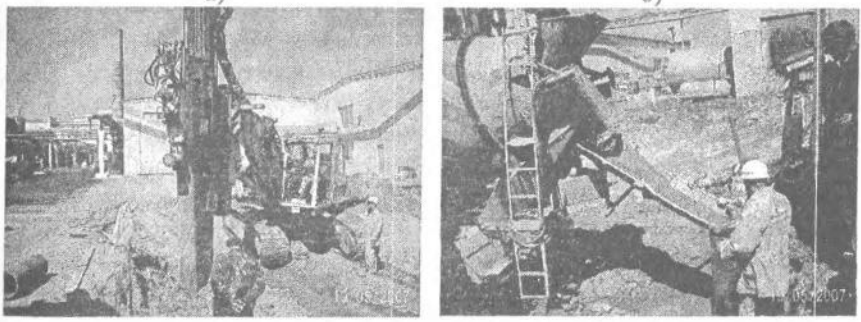


Рис. 2. Устройство вибронабивных свай:
а – погружение в водонасыщенный грунт обсадной трубы с теряемым наконечником при помощи станка ABI с вибратором на направляющей стреле;
б – бетонирование ствола сваи

К *достоинству* данной технологии следует отнести повышенные скорость выполнения свай и несущую способность основания в любых геологических условиях. Но важный ее *недостаток* во вредном влиянии на окружающие строения и подземные коммуникации динамических воздействий, слишком опасных в водонасыщенных грунтах с большим радиусом влияния и возникновением резонанса при запуске и остановке механизма.

Весьма ярко это проявилось в виде деформаций магазина «Ромашка» при устройстве возле него вибронабивных свай для плитно-свайного фундамента под высотное здание [2]. При устройстве первой сваи здесь была допущена *наиболее распространенная ошибка* в том, что скважину выполняли погружением обсадной трубы Ø630 мм с открытым нижним концом на глубину 8 м в водонасыщенный песок через верхние слои насыпного грунта и торфа с их выемкой желонкой до забоя скважин. Это привело к суффозионному разупрочнению песка за счет разности напоров воды в трубе и снаружи нее. Поэтому значение несущей способности ее основания составило всего 750 кН. В этой связи автором было предложено выполнять проходку скважин с выемкой из обсадной трубы насыпного грунта и торфа при оставлении в ней уплотненной песчаной пробки, а затем ее вытеснять из обсадки погружаемой внутренней трубой Ø 530 мм с заглушенным торцом (рис. 3), через которую опускался арматурный каркас и бетонировался ствола сваи. Обе трубы извлекали вибропогружателем с уплотнением бетона. В итоге здесь впервые в Беларуси достигли значений несущей способности свай более 2800 кН даже в водонасыщенном песке.

Для смягчения динамических воздействий в водонасыщенных грунтах автор предлагает закачивать воздух через трубку снаружи обсадки с ее погружением при щадящем режиме вибрации. Еще больший эффект обеспечивают так называемые «безрезонансные» вибропогружатели (рис. 4).

По технологии SFA (рис. 5) в любых грунтах, даже неустойчивых водонасыщенных, скважины бурят непрерывным полым шнеком, через который по мере его последующего подъема в созданную скважину закачивается под давлением бетон, а в него сразу же погружается арматурный каркас на требуемую глубину.

Важное *достоинство* данной технологии заключается в большой скорости устройства свай, а опрессовка грунта под давлением вдоль всего ствола исключает шламообразование при и достижении повышенных значений несущей способности основания.

Благодаря использованию современного оборудования (рис. 6) возможно устройство свай CFA с Ø 0,3…1,0 м при их длинах до 24 м.

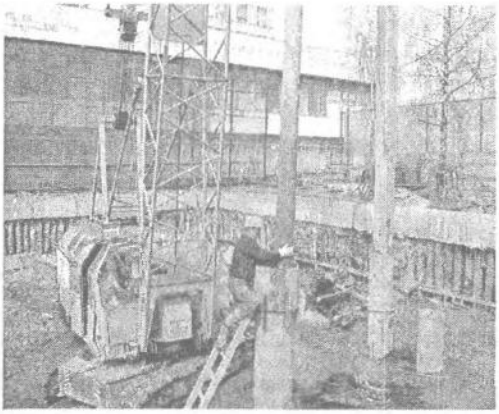


Рис. 3. Устройство буронабивных свай: слева – погружение желонки для выемки из обсадки слабых грунтов над уплотненной грунтовой пробкой, справа – вытеснение пробки второй трубой с глухим торцом



Рис. 4. Погружение труб подвесным безрезонансным вибропогружателем

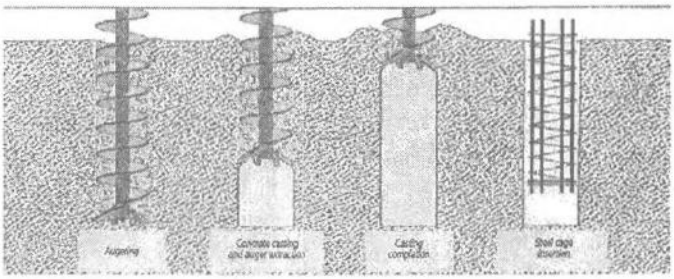


Рис. 5. Устройство буронабивной сваи при помощи полого непрерывного шнека

Технология CSP (Cased Secant Piles - Секущие сваи с обсадной трубой) выполнения свай, в том числе свайных стен, предусматривает использование буровой установки с двумя вращателями для погружения обсадной трубы и внутри нее непрерывного полого шнека (рис. 7) в любых грунтах, включая обводненные. По этой технологии можно создавать буросекущие сваи с гарантированным отклонением стволов от вертикали до 1,0 – 1,5 % при их Ø660 мм, 820 мм и 1020 мм и длинах до 21,5 м.

Важным *достоинством* технологий CFA и CSP является то, что при помощи бортового компьютера регулируются скорости извлечения шнека

и нагнетания бетонной смеси, ее объем и давление закачки, обеспечивая контроль целостности и диаметра ствола, а заодно несущей способности сваи. За счет закачки нужного объема бетона на соответствующей глубине можно создавать локальные уширения по длине ствола и под нижним концом сваи, сильно повышая долю сопротивления грунта сжатию под или над ними, что имеет особое значение для выдергиваемых свай.

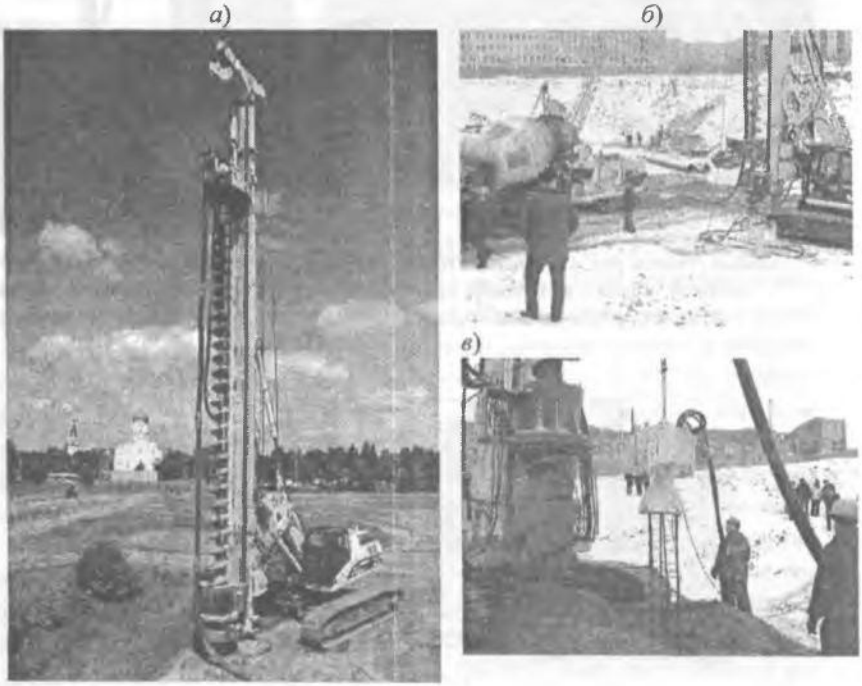


Рис. 6. Оборудование для устройства свай SFA:
а – буровой станок со сплошным полым шнеком; *б* – буровой станок для походки скважин;
в – подъем шнека с бетоном на лопастях
и погружение вибратором арматурного каркаса в скважину

Недостаток этих технологий – сложность погружения длинных арматурных каркасов в скважину с бетонной смесью за счет ее быстрого твердении при интенсивной водоотдаче в песках. По технологии CSP в крупных песках и гравии шнек может заклиниваться в трубе.

Устраивать буровые сваи при проходке скважин в маловлажных лессах без их выемки, но с вытеснением посредством раскатки впервые было

предложено В.И. Феклиным. Немецкая фирма «Bauer» в развитие данной технологии для раскатки и бетонирования скважин в слабых водонасыщенных грунтах разработала комплект оборудования с рабочим органом в виде конуса с винтовой лопастью на конце буровой трубы (рис. 8).

После заполнения скважины бетоном в него по аналогии с технологиями CFA и CSP вибратором вдавливают арматурный каркас.

Комплект оборудования итальянской фирмы Soilmec включает раскатчики диаметром 450 мм, 650 мм, 800 мм (рис. 9).



Рис. 7. Буровая установка для выполнения свай системы CSP



Рис. 8. Раскатчик скважин системы «Бауэр»

Сваи большой несущей способности можно выполнять при помощи струйной технологии (jet-grauting) [6] без выемки грунта при его размыве и перемешивании с нагнетаемым под большим напором цементным раствором. Частичная выемка грунта возникает лишь при проходке лидерной скважины буровой головкой на конце полой мониторной штанги с соплами внизу (рис. 10 и 11) для закачки раствора под давлением 40 – 60 МПа.

Диаметр и форма создаваемых свай зависят от давления инъекции, объема закачиваемой смеси, скоростей вращения и подъема монитора, автоматически контролируемых бортовым компьютером. Ствол сваи с уши-

рениями создают от забоя вверх по мере подъема монитора после проходки лидерной скважины, а армирование сваи производят сразу после создания цементно-грунтового ствола.



Рис. 9. Раскатчики фирмы Soilmec



Рис. 10. Сваи для концевой опоры канатного подъемника трассы сноуборда в Силичах, выполненные по струйной технологии (на заднем плане виден станок фирмы «Kasagrande» для выполнения свай)



Рис. 11. Оборудование итальянской фирмы Soilmec для струйной технологии

Контроль качества изготовления свай. Стандартные автоматизированные системы позволяют измерять следующие параметры: время, глубину и развиваемое в гидросистеме давление во время бурения; время, глубину, объем и давление закачки цементного раствора (или бетонной смеси) во время подачи в скважину. В процессе работ по устройству свай на экраны мониторов выводятся графики, отражающие состояние технологического процесса в режиме реального времени. Это позволяет в случае необходимости оперативно вносить корректирующие изменения. Получаемые в

электронном виде сведения можно хранить для использования, обработки и интерпретации в сопоставлении с результатами полевых испытаний для прогноза несущей способности свай в аналогичных грунтах.

Важно помнить, что все новые геотехнические технологии требуют тщательного их соблюдения и каждая из них имеет свою рациональную область применения, а на соответствующем оборудовании должны работать подготовленные кадры. В противном случае можно угробить дорогостоящее оборудование, а сама технология окажется неэффективной.

Нормативная база по устройству и проектированию буронабивных свай. В Республике Беларусь существует нормативная база [2 – 6] для проектирования и устройства свай посредством вышеуказанных технологий с опрессовкой грунта за счет его вытеснения при раскатке и закачке бетона под давлением или при использовании струйной технологии.

Испытания свай в грунтах. Наиболее достоверные данные о несущей способности свай дают их статические испытания в конкретных инженерно-геологических условиях с целью принятия обоснованных и экономичных решений нулевого цикла. Традиционные и предлагаемые схемы испытаний свай представлены на рисунке 12, *а – д*).

Испытательные вдавливающие нагрузки на сваи обычно передают при помощи домкратов, располагаемых под упорными конструкциями. Для закрепления балок используют смежные выдергиваемые сваи, винтовые или буроинъекционные анкеры, которые должны располагаться на удалении от испытуемой сваи для исключения взаимного влияния.

Недостаток балочной системы связан с тем, что сами балки при больших пролетах должны иметь увеличенные поперечные сечения или требуется большее количество балок и удерживающих анкеров (рис. 12, *б*). При такой системе усложняется проведение испытаний и увеличиваются сроки их проведения. Их проведение становится проблематичным в стесненных габаритах, причем завинчиваемые анкеры нарушают структуру грунта в зоне расположения рабочих свай рядом с испытуемой.

Недостаток использования анкеров из выдергиваемых забивных свай обусловлен тем, что они удерживаются лишь трением вдоль стволов, поэтому их требуется большое количество. Предпочтительнее поэтому наклонные винтовые и буроинъекционные анкеры или набивные сваи с уширениями с более простой безбалочной упорной системой (рис. 12, *в*).

Недостаток использования грузовых платформ (рис. 12, *г*) для испытаний свай обусловлен необходимостью большого количества грузов в виде бетонных блоков или плит, причем возникающее обжатие ствола с увеличением сопротивления грунта сдвигу завышает получаемые результаты.

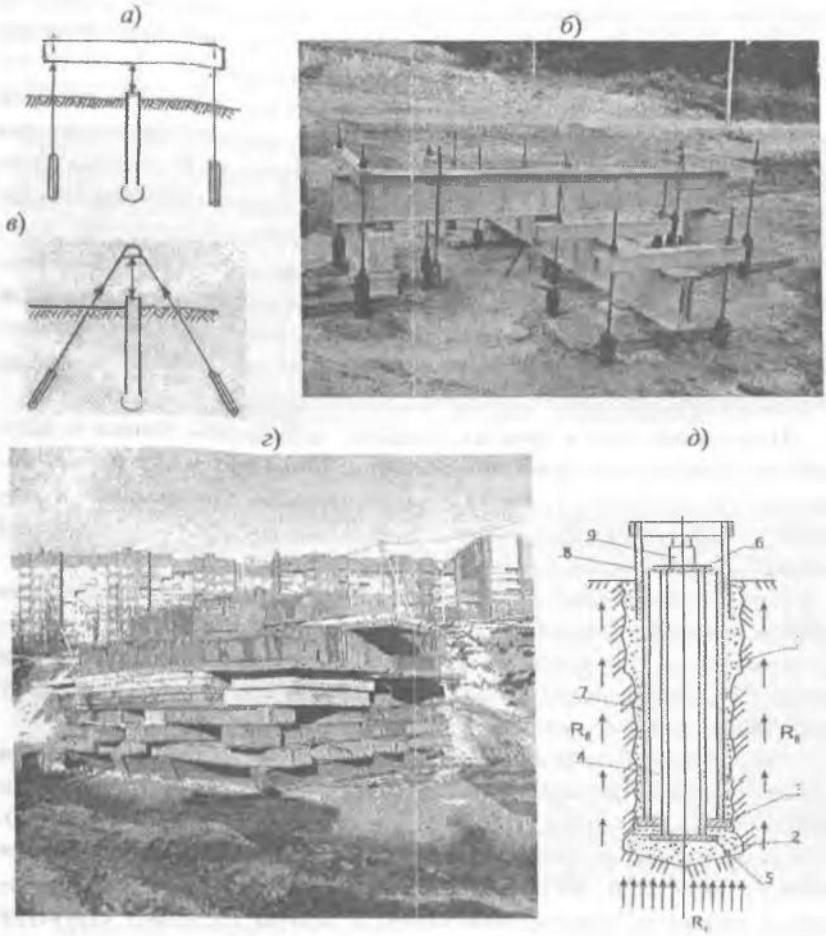


Рис. 12. Схемы испытаний свай на вдавливание:
а, б – упор балочный заанкеренный; *в* – то же безбалочный;
г – упорная грузовая платформа; *д* – раздельная передача усилий на ствол и пяту сваи;
1 – тампонажная обойма в верхней части ствола; 2 – пята; 3 – упругая легкосжимаемая прокладка для разделения пяты и ствола сваи; 4 – труба внутренняя для передачи вдавливающего усилия на пяту; 5, 6 – упорные пластины; 7 – наружная труба с заливкой между ней и стенками скважины для передачи сдвигающего усилия на ствол сваи при его выдавливании вверх; 8 – тяги упора; 9 – гидравлический домкрат

Следует обратить внимание на укоренившуюся *порочную практику статических испытаний свай* с приложением нагрузок, не позволяющих

выявить фактические значения несущей способности оснований. Часто они составляют увеличенные в 1,2 раза проектные значения нагрузок, либо ограничиваются в силу выдергивания анкерных свай в составе балочной системы, а в случае загрузочных платформ за счет недостаточного количества балласта. В этой связи не соблюдались требования ГОСТ 5686-94 о доведении нагрузок до осадки свай более 40 мм. Хотя стандарт и допускает превышение проектной нагрузки на сваю в 1,5 раза, но осадка сваи может не превышать максимальной сдвиговой при малом отпоре грунта под пятой сваи, который должен составлять основную долю в общем сопротивлении. В таком случае нельзя судить о плотности грунта под нижним концом сваи и о надежности ее последующей эксплуатации. Этот факт обычно не учитывают и возникают неблагоприятные последствия.

Значение коэффициента надежности 1, 2 при статических испытаниях в малом количестве не может обеспечить гарантию эксплуатационной надежности всех свай на объекте. Степень неопределенности возрастает и за счет изменчивости характера и свойств слоев грунтов по глубине и в плане, которые четко не выявляются при больших расстояниях между скважинами и точками зондирования. Хотя при оценке результатов испытаний свай учитывают худшие результаты, но это чревато неэкономичностью нулевого цикла и нежелательными последствиям от неравномерности осадок свайных фундаментов на разных участках здания.

Динамические испытания свай выполняют при забивке и вибрационном погружении готовых свай или обсадных труб с теряемыми башмаками для устройства буронабивных свай. При этом фиксируемые отказы служат ориентировочными показателями несущей способности оснований в связи с разным влиянием динамических воздействий на свойства грунтов.

Достоинство таких испытаний заключается в том, что им подвергаются все сваи. Хотя при погружении свай ударным способом ограничено их количество при свободном падении молота, но наличие взаимосвязи между отказами при таком погружении свай и в режиме работы молота позволяет установить переходный коэффициент и тем самым оценивать сопротивляемость грунтов оснований у всех свай.

Ускорить и простить испытания свай без использования мощной упорной системы или грузовой платформы и при меньшей мощности домкрата позволит предложенная нами и отраженная в [3] схема (рис. 12, *д*) со сжатием грунта пятой внутренней трубы, а сдвигом вдоль ствола замоноличенной или завинченной наружной. При малом сопротивлении сдвигу вдоль ствола нужна лишь частичная его пригрузка.

В случае применения свайно-плитных фундаментов для высотных зданий предлагается испытывать сваи с упором домкрата в фундаментную плиту, удерживаемую заделанными в ней смежными сваями. Для оценки

доли сопротивления грунта сдвигу, в том числе негативного вдоль ствола, можно испытывать сваи на выдергивание после ее вдавливания.

Оценить долю сопротивления грунта сжатию под фундаментной плитой или несущим ростверком можно по результатам испытания их фрагментов или штампов.

Основные ошибки при интерпретации динамических испытаний обусловлены искажением отказов при погружении свай в виде их заклинивания за счет дилатантного распора в песках, особенно с крупными фракциями, проскальзывания («омыливания») в пластичных глинистых грунтах при переходе связной воды в свободную по контактной поверхности ствола, засасывания в маловлажных глинистых грунтах при возникновении вакуума под пятой, поломки бракованных стволов (так называемая «пляска свай» с характерным грохотом) при наличии крупных тел под пятой.

В случае возникновения отрицательного (негативного) трения вдоль стволов характерна *ошибочная* интерпретация результатов испытаний свай без двойного вычитания его значения.

Ошибки при проектировании свайных фундаментов обусловлены в основном недостоверными данными о характере напластований и их свойствах, а также связаны с недопониманием отличия взаимодействия с разными грунтами свай исходя из особенностей конструктивно-технологических устройства или схем испытаний соответствующих свай с присущими им вышеизложенными достоинствами и недостатками. Нередки случаи, когда авторы проектов не учитывают наличия крутопадающих слоев грунтов и их склонности к развитию суффозии и оползней, что может приводить к поломке свай от горизонтальных составляющих усилий и существенных опрокидывающих моментов выше зоны защемления.

Заключение

1. Новые технологии устройства свай позволяют выполнять их в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях и достигать больших значений несущей способности оснований, что особенно важно при высотном строительстве и увеличении нагрузок на фундаменты.

2. Учет присущих эти технологиям достоинств и недостатков с характерными ошибками проектирования, устройства и испытаний свай позволят разрабатывать экономичные и надежные решения нулевого цикла.

Литература

1. Никитенко, М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при возведении и реконструкции зданий и сооружений / М.И. Никитенко. – Минск: БНТУ, 2007. – 580 с.

2. Никитенко, М.И. Некоторые проблемы свайных фундаментов в геотехнической практике Беларуси / М.И. Никитенко, В.Ю. Журавский // Строительная наука и техника. – Минск, 2008. – № 4(19). – С. 44 – 51.
3. Проектирование и устройство буронабивных свай: Пособие П 13-01 к СНБ 5.01.01-99. – Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2002. – 43 с.
4. Проектирование и устройство буроинъекционных анкеров и свай: Пособие П 18-04 к СНБ 5.01.01-99 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – 79 с.
5. Проектирование и устройство фундаментов из свай с уплотненным основанием: Пособие П 19-04 к СНБ 5.01.01-99 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2006. – 88 с.
6. Фундаменты и подземные сооружения, возводимые с использованием струйной технологии: Правила проектирования и устройстваТКП 45-5.01-45-2006 (02250) / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2006. – 33 с.

УДК 624.155.2

Кравцов В.Н, канд. тех. наук
(Институт БелНИИС, г. Минск)
Саиф Сами Хуссейн Аль-Тамими
(БНТУ, г. Минск)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВИНТОВЫХ СВАЙ В ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Введение. Сваи металлические винтовые (далее сваи ВС) хорошо зарекомендовали себя при их использовании на мало и средне нагруженных объектах II и III уровней ответственности в любых грунтах кроме прочных и скальных [1].

Особенно сильно преимущество ВС возрастает и становится приоритетным (по сравнению с традиционными плитными и свайными фундаментам) на объектах со значительными выдергивающими, горизонтальными и моментными нагрузками и при их возведении в сложных (специфических) условиях строительства (на трудно доступных строительных площадках, со сложным рельефом, наличием в верхней зоне низкопрочных и обводненных грунтов). В то же время отклонения значений несущей способности (P) и деформации (осадок s и выхода v при выдергивания) осно-

ваний металлических сваи, от их фактических величин, найденных по методикам [2 – 5 и др.], достигают 100 %, особенно большие расхождения между опытными и расчетными значениями P, s, ν наблюдаются при определении их несущей способности и деформативности на выдергивание.

Для уточнения указанных расчетных методик в РУП «Институт БелНИИС» были проведены натурные экспериментальные исследования свай ВС, усовершенствованных конструкций. В настоящей работе приводятся результаты испытаний свай ВС на выдергивающие нагрузки на одной из опытных площадок.

1. Конструкция, экспериментальные исследования свай ВС и их анализ. Испытанные металлические винтовые сваи состоят из ствола в виде трубы диаметром d_f и лопасти диаметром $D_л$, мм; № 1 (d_f 108, $D_л$ 300), № 2 (d_f 87, $D_л$ 250), № 3 (d_f 78, $D_л$ 250), № 4 (d_f 57, $D_л$ 150), длиной $L = 2 – 2{,}5$, м; (табл. 1, рис. 1). Лопасти, как правило, выполняются в виде сварных наконечников.

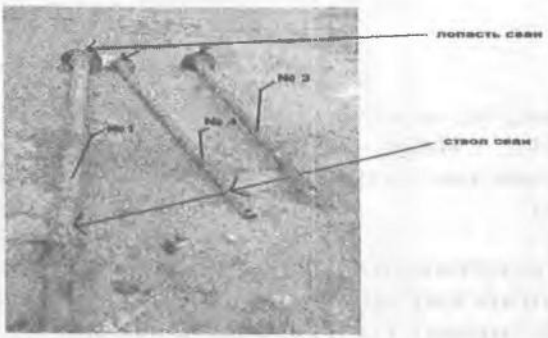


Рис. 1. Общий вид испытанных металлических свай ВС

Испытываемые сваи ВС 1-4 погружены в грунт завинчиванием с помощью ручной лебедки. Лопасть ВС позволяет преобразовать вращательный момент в поступательное усилие во время погружения сваи, благодаря чему она как шуруп вкручивается в грунт на необходимую глубину, упрочняя его.

Нагружение испытываемых свай осуществлялось гидравлическим домкратом ДГ50 или силовыми цилиндрами ЦГ100, реактивные усилия от которых передавалось через металлическую балку конструкции ЦОиФ ОАО «Строикомплекс», заанкеренную в грунте винтовыми сваями с диаметром ствола Ø 219 мм и диаметром лопасти Ø 500 мм, которые располагались на расстоянии не менее $3d$ от испытываемых свай ВС.

Давление в системе поддерживалось при помощи насосной станции НСР 400 и контролировалось манометром на 400 атм с ценой деления 5 атм.



Рис. 2. Общий вид опытно площадки, испытательной установки и оборудования:
1 – упорная балка; 2 – домкрат; 3 – насосная станция с манометром

Выход свай из грунта (v) измерялся при помощи двух прогибомеров системы Аистова (6ПАО). Замеры осадок производились относительно неподвижной реперной системы, состоящей из металлических стоек диаметром 50 мм. Испытания свай ВС статическими осевыми выдергивающими нагрузками проводились по стандартной методике ГОСТ 5686-94 [6] до их срыва и выхода из грунта не менее чем на 40 мм.

После этого они разгружались с замером упругих деформаций. Характеристики грунта основания сваи ВС определены по отчету инженерно-геологических изысканий (см. табл. 1).

На ОП1 испытано 4 сваи ВС 1-4 различных размеров и глубины погружения. Результаты испытаний даны в таблице 1 и на рисунках 3 – 5.

Анализ опытных данных показывает:

1) характерной особенностью потери устойчивости основания мелкозаглубленных свай ВС ($z \leq 8 - 10\ D_д$) являются: а) образование явно выраженного «конуса выпора» (см. рис. 5) с поверхностями скольжения, падающими от лопасти сваи вверх к дневной поверхности под углом Ψ_o;

б) сдвиг мелкозаглубленных свай ВС происходит по поверхностям скольжения между поверхностями отделившегося блока грунта (относительно правильной конусообразной формы) и окружающим его неподвижным грунтом.

2) допускаемая нагрузка на сваи ВС, полученная опытным путем отличается от их значений по методикам [2 – 5] до 1,3 раза, как в сторону завышения, так и в сторону занижения. Требуется их корректировка (см. таблицу и рис. 3, 4).

Характеристики опытных свай ВС 1-4, грунтов опытной площадки и результаты их испытания выдергивающей нагрузкой

Наименование объекта и адрес, номер опытной площадки	Состав и тип грунтов основания ОП1 по СТБ943-2007, согласно отчету о геологических изысканиях	Характеристики грунтов основания сваи ВС				Характеристики свай				глубина погружения, м	Частное значение нормативной (при выходе v, s = 20 мм, и допускаемой знаменатель) нагрузки сваи ВС по результатам статических испытаний согласно ГОСТ 5686 (к = 1,25)	Нагрузка, допускаемая на сваю, рассчитанная по методике рекомендаций Р5.01.069 [3] F_d, кН, (к=1,4) и величина ее отклонения от значений по графе 12,% (знаменатель)	Нагрузка, допускаемая на сваю, рассчитанная по методике Железкова В.Н. [4] кН (к=1,4) и величина ее отклонениz от значений по графе 12,% (знаменатель)
		удельный вес грунта γ, кН/м³	угол внутреннего трения, φ,град	сцепление с, кПа	модуль деформации E, МПа	номер сваи по рисунку 1	длина, м	диаметр ствола, мм	диаметр лопасти, мм				
Строящееся административное здание по ул. Тимирязева в г. Минске. опытная площадка ОП1	ИГЭ 1 Насыпной грунт	17,2	–	–	–	№ 1	2,5	108	300	2	155/124	100,7 (–23 %)	109 (–14 %)
						№ 2	2,5	87	250	2	90,5/72,4	82.9 (+13 %)	90,47 (+25 %)
	ИГЭ 2 Супесь пылеватая средней прочности	20,0	20	9	13	№ 3	2	76	250	1,5	79/63,2	74,32 (+15 %)	57,2 (–10 %)
						№ 4	2	57	150	1,5	46/36.8	49 (+25 %)	20,8 (–24 %)
	ИГЭ 3 Песок средний малопрочный	16,5	26	–	13								
	ИГЭ 4 Песок средний средней прочности	17,5	31	0,7	21								
	ИГЭ 5 Мергель	16,1	20	10	7,0								

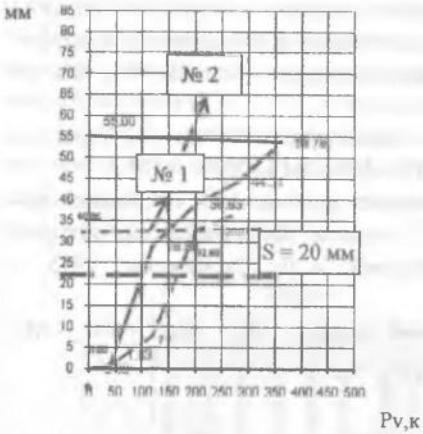


Рис. 3. Графики зависимости выхода сваи ВС № 1: (d_f108, $D_л$ 300); № 2: (d_f 87, $D_л$250) из грунта ν от нагрузки Pv.

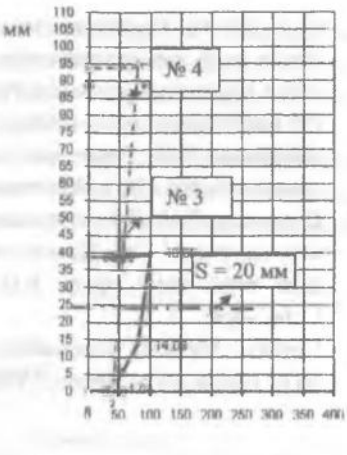


Рис. 4. Графики зависимости выхода сваи ВС № 3:(d_f78,$D_л$250); №4: (d_f 57, $D_л$150) из грунта ν от нагрузки Pv

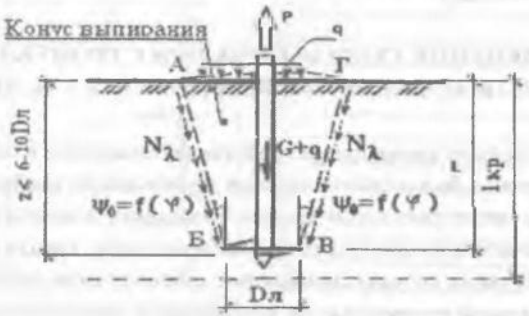


Рис. 5. Схема потери устойчивости опытных свай ВС 1-4 на площадке ОП1

Литература

1. Кравцов, В.Н. Эффективность использования винтовых свай в сложных грунтовых условиях Беларуси / В.Н. Кравцов, Л.С. Чеботарь // Научные прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений на сложных грунтах: тр. междунар. конф. Геотехника. – СПб.: СПб ГАСУ, 2008. – С. 186 – 191.
2. Чернюк, В.П. Винтовые сваи и анкера в строительстве / В.П. Чернюк. – Минск: Ураджай, 1993. – 176 с.

3. Р5.01.069.10. Рекомендации по проектированию и строительству винтовых свай для гражданских, промышленных и инженерных сооружений в грунтовых условиях Республики Беларусь. – Минск: РУП «Институт БелНИИС», 2011. – 69 с.
4. Железков, В.Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства / В.Н. Железков. – СПб.: ПРАГМА, 2004. – 128 с.
5. Далматов, Б.И. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов / Б.И. Далматов, Ф.К. Лапшин, Ю.В. Россихин; под ред. д-ра техн. наук проф. Б.И. Далматова. – Л.: Стройиздат, 1975. – С. 66 – 69.
6. Грунты. Методы полевых испытаний сваями: ГОСТ 5686 – 94.. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 51 с.

УДК 624. 023.943:624.159.9

Сернов В.А., канд. техн. наук, доцент; Тронда Т.В.
(БНТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМАССИВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРЕХ ДЕВЯТИЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В Г.П. КОЛОДИЩИ

В настоящее время при устройстве фундаментов в сложных грунтовых условиях в большинстве случаев применяются свайные фундаменты. Однако на некоторых строительных площадках мощность слабых грунтов может значительно превысить сжимаемую толщу грунта в основании фундамента. В таких случаях применение длинных свай малоэффективно в связи с высокой стоимостью их устройства и опасностью развития отрицательных сил трения вдоль их боковых поверхностей в случае пронизывания стволами грунтов с органическими включениями и наличием на глубине водоносных горизонтов. Более экономичным решением в данных условиях является вертикальное армирование верхней части основания с улучшением прочностных и деформационных характеристик природного грунта, т.е. устройство геомассива. Такая схема позволяет распределять напряжения от здания по большей площади и рассеивание напряжений с глубиной будет происходить более интенсивно.

Инженерно-геологические условия при строительстве на объекте: «Три девятиэтажных двухподъездных дома в г.п. Колодищи» относятся к сложным. Под подошвами проектируемых фундаментов толща слабых лес-

совидных суглинков с модулями деформации 4.3 МПа распространяется на глубину от 3.0 до 8.5 м. Ниже залегает прослойка песка средней прочности, а под ней глинистые грунты с органическими включениями и торф, подстилаемые на глубине 12.5 – 16.7м песками средней прочности (рис. 1).

Наличие в основании больших толщ слабых грунтов определило применение в первоначальном проекте фундаментов из составных забивных свай длиной от 16 м до 21 м, объединенных отдельными столбчатыми и ленточными ростверками.

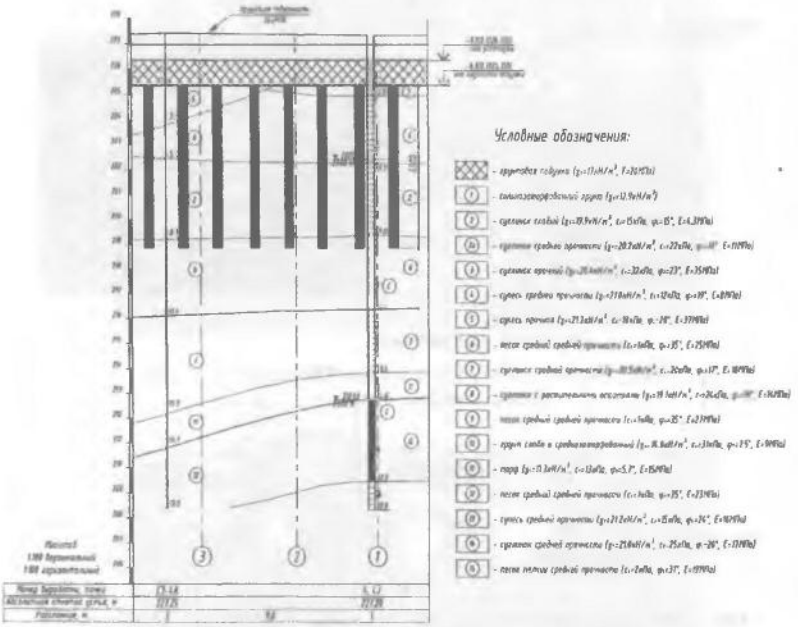


Рис. 1. Инженерно-геологические условия строительной площадки в г.п. Колодищи

В качестве альтернативного варианта был выполнен проект монолитной железобетонной фундаментной плиты с вырезами и геомассива, состоящего из вертикальных армирующих элементов и промежуточной песчаной подушки (рис. 2). Вертикальные армирующие элементы выполняются для упрочнения основания, в пределах глубины сжимаемой толщи которого залегают слабые суглинки (ИГЭ-2) с низкими прочностными и деформационными характеристиками.

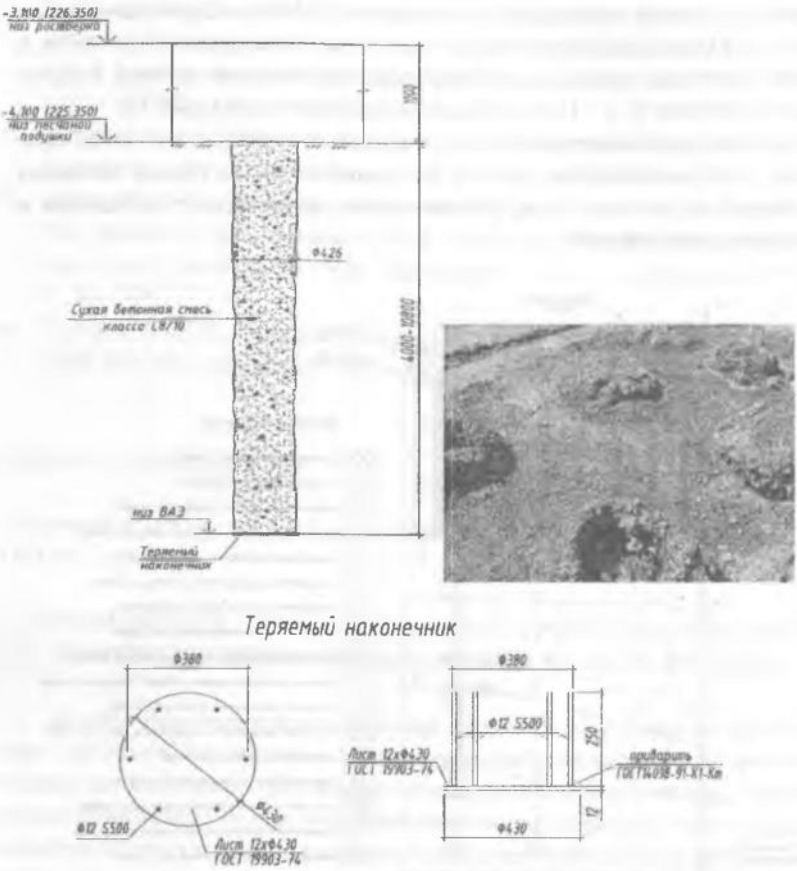


Рис. 2. Вертикальный армирующий элемент из сухой бетонной смеси в выштампованной скважине

Вертикальные армирующие элементы выполняются по технологии вибровыштампованных набивных свай диаметром 426 мм с шагом 1.5 м и длиной от 4 до 10.8 м. Скважины выполняются обсадной трубой с заглушенным нижним концом, погружаемой на проектную отметку вибромолотом (рис. 3). Затем труба заполняется сухой бетонной смесью и извлекается при помощи вибромолота, уплотняя бетонную смесь. Сухая бетонная смесь дренирует окружающий водонасыщенный глинистый грунт, улучшая его прочностные и деформативные характеристики, обеспечивает ус-

корение консолидации окружающих грунтов и улучшает качество их уплотнения при погружении последующих вертикальных армирующих элементов. Устройство грунтовой подушки толщиной 1.0 м из песка крупного или средней крупности без органических включений осуществляется послойно вибродинамическим методом (рис. 4).



Рис. 3. Установка для вибропогружения обсадной трубы с теряемым наконечником



Рис. 4. Уплотнение грунтовой подушки и природного грунта в верхней зоне основания виброкатком

Вертикальные армирующие элементы устраиваются в шахматном порядке через один. Элементы второй очереди устраиваются в частично дренированном грунте, что способствует лучшему уплотнению основания.

Нагрузка на вертикально армированное грунтовое основание передается через конструктивную прослойку из песчаного грунта толщиной 1.0 м.

Совместная работа армирующих элементов и окружающего их массива грунта обеспечивается за счет расположения элементов с оптимальным расчетным шагом и шероховатости боковой поверхности, повышающей трение-сцепление и позволяющей исключить «проскальзывание» армирующего элемента.

После устройства вертикальных армирующих элементов и уплотнения верхней зоны основания для определения модуля деформации геомассива были выполнены испытания фрагментов геомассива железобетонными штампами размером 1,5 × 2,7 м в соответствии с ГОСТ20276-99 (рис. 5).



Рис. 5. Плиты для статических испытаний геомассива

Среднее значение модуля деформации геомассива составило $E = 40$ МПа, что в 2 раза превышает расчетное значение, указанное в проекте.

Таким образом, устройство геомассива из вертикальных армирующих элементов и песчано-гравийной подушки позволило увеличить модуль деформации основания в 9 раз.

Для контроля качества уплотнения грунтов в пределах геомассива в соответствии с разработанной проектной документацией в 2011 году было выполнено статическое зондирование в тех же точках, что и в период изысканий 2010г.

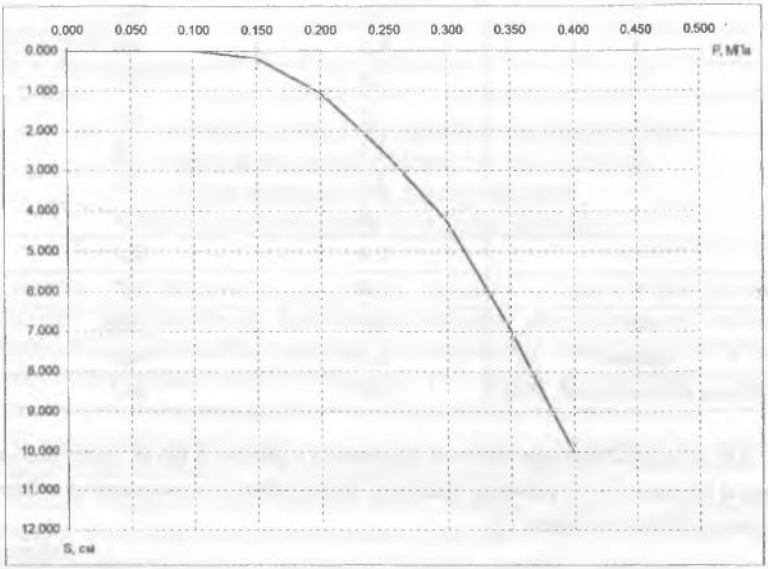


Рис. 6. Результаты испытания статической нагрузкой одного из фрагментов геомассива

Средние значения сопротивления грунта под наконечником зонда q_c в пределах длины ВАЭ приведены в таблице 1.

Среднее значение q_c в пределах длины ВАЭ до устройства геомассива составляло 1,79 МПа, после устройства геомассива – 6,29 МПа. Сопротивление грунтов под наконечником зонда после устройства геомассива увеличилось в 3,5 раза.

Среднее значение модуля деформации Е, МПа, рассчитанного по результатам статического зондирования в соответствии с П2-2000 к СНБ5.01.01-99, в пределах длины ВАЭ до устройства геомассива составило 10,3 МПа, после устройства геомассива – 36,1МПа, что приблизительно равно среднему значению модуля деформации, полученного в результате штамповых испытаний (E = 40 МПа).

Таблица 1

Средние значения q_c грунтов в пределах длины ВАЭ

Точка зондирования	Значения q_c, МПа	
	до устройства ВАЭ	после устройства ВАЭ
1	2,1	10,2
2	2,1	8,6
3	1,8	8,6
4	1,5	3,4
5	1,1	2,4
6	3,3	3,5
7	1,8	3,7
8	2,1	2,0
9	1,2	7,7
10	0,9	12,8
среднее	**1,79**	**6,29**
Модуль деформации E, МПа	**10,3**	**36,1**

Для технико-экономического сравнение вариантов были выполнены расчеты стоимости устройства свайных фундаментов и геомассива в базовых ценах 2006г (таблица 2).

Таблица 2

Технико-экономические показатели вариантов фундаментов.
Стоимость в ценах на 1 января 2006 г, руб.

Показатели	Жилой дом № 1	Жилой дом № 2	Жилой дом № 3
Свайное поле	699 039 068	688 599 893	695 546 820
Геомассив	434 878 599	516 853 389	462 660 516
Экономический эффект	38%	25%	33%

Технико-экономическое сравнение вариантов показало, что стоимость геомассива в среднем на 32% меньше стоимости фундаментов из забивных составных свай даже притом, что стоимость ростверка возросла в 2 раза.

УДК 004.9

Балашова Е.С.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН УПРАВЛЕНЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Анализ составляющих успешного освоения студентом дисциплины показывает необходимость базовой подготовки, обеспеченность учебно-методическим материалом, высокую квалификацию преподавателя и достаточную мотивацию самого студента [1]. Помочь организовать работу студента могут информационные и коммуникационные технологии.

В настоящее время накоплен большой опыт применения в учебном процессе информационных и коммуникационных технологий [1 – 3].

Выбор нужного типа электронного средства учебного назначения, адаптация существующих программных продуктов (если есть такая возможность) или разработка авторских педагогических приложений с использованием информационных и коммуникационных технологий осуществляется на основании изучения и анализа передового опыта, созданных и используемых в других учебных заведениях электронных средств учебного назначения, гипертекстовых систем, электронных учебников, распределенных ресурсов сети Интернет [2].

На основе анализа содержания дисциплины, выявления наиболее сложных разделов и тем; определения видов занятий, на которых целесообразно использовать средства информационных и коммуникационных технологий, необходимо было решить следующие *задачи*:

– предъявление нового учебного материала, хранящегося в базах данных, системах мультимедиа;

– компьютерная визуализация учебной информации в презентационном пакете Power Point, моделирование протекания различных процессов и явлений;

– имитация работы изучаемых процессов;

– автоматизация процессов расчета, контроля, управления учебной деятельностью [2].

Разрабатываемые программные средства должны соответствовать основным требованиям, предъявляемым к электронным средствам учебного назначения:

– психолого-педагогическим требованиям;

– техническим требованиям;

– эргономическим требованиям;

– эстетическим требованиям;

– требованиям к оформлению документации [2].

Общие рекомендации, которые уже опробованы и применимы для любого цикла дисциплин, следующие:

– размер фрагментов подбирается таким образом, чтобы он помещался на экране и был легко читаем. Количество строк фрагмента (заголовок с текстом, задача, вопрос с ответами) обычно составляет 10 – 20. Количество символов в строке не превышает 60, т.е. среднее число символов в стандартной строке книги;

– текст, поступающий на экран дисплея, усваивается иначе, чем текст, написанный на бумаге. Здесь имеют значение и свечение букв, и неустойчивость изображения. Поэтому текст должен быть лаконичным, конкретным и ясным;

– предъявление учебного материала может осуществляться в любом временном режиме (быстрее, медленнее) и многократно. Это зависит от уровня знаний обучаемого и требуемого уровня его подготовки.

– значительно улучшает восприятие учебного материала выделение той или иной информации. Компоновка учебного материала, его изложение должны вестись с учетом психофизиологических особенностей обучаемых [3].

Опыт использования информационных и коммуникационных технологий при изучении таких дисциплин, как «Управление в строительстве» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», «Управление строительным производством» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» заочной формы обучения, «Маркетинг», «Менеджмент», «Организация и управление строительным производством», «Управление недвижимостью» для студентов специальности 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» выявил некоторые специфические особенности подготовки лекционного материала.

Информация в основном текстовая, в значительной мере гуманитарного направления, с относительно небольшим количеством формул и графиков. Возникла задача максимально наглядного изложения материала. В основу построения и передачи материала был положен в определенной

степени принцип «занимательных картинок». Для оформления разделов, тем, определений, выводов были использованы различного рода анимационные картинки, иллюстрации, организационные схемы, объемные диаграммы, фотографии, фильмы, мультфильмы, музыкальное сопровождение, что значительно повысило привлекательность материала. После подготовки и передачи электронной версии лекционных курсов в медиатеку появилась необходимость переработки лекций, предназначенных для чтения в аудитории. Было принято решение преобразовать их по принципу создания рекламы для каждого предмета с рассмотрением наиболее значимых фрагментов материала курсов в презентационном пакете Power Point. Для каждой дисциплины разработаны деловые игры, применена рейтинговая система оценки знаний.

С учетом особенностей обучения на заочном факультете, для передачи информации по итогам допуска к защите контрольной работы и консультаций по возникающим вопросам по дисциплине «Управление строительным производством» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» заочной формы обучения и по дипломному проектированию для вышеназванных специальностей была создана электронная почта. Это позволило значительно повысить мобильность коммуникационного процесса.

Все необходимые учебно-методические материалы были скомпонованы в медиатеке в соответствующие блоки:

– по дисциплинам,

– формам проведения занятий с электронными версиями лекционных курсов, материалов практических занятий, методическими рекомендациями по выполнению курсового проекта, контрольной работы;

– контролю знаний;

– рекомендуемой литературе с предоставлением отсканированных версий соответствующих изданий;

– подготовки к сдаче госэкзаменов по специальностям, в медиатеке университета.

Как показала практика, использование таких информационных и коммуникационных технологий, позволило:

– усилить положительную мотивацию обучения;

– активизировать познавательную деятельность студентов;

– повысить эффективность лекций за счет увеличения информационной плотности;

– значительно улучшить восприятие предлагаемой информации за счет преобладания наглядно-образного мышления, повышения эмоциональности восприятия;

– повысить интерес к учебному материалу;

– перевести учебный процесс на качественно более высокий уровень.

Предложенные формы применения информационных и коммуникационных технологий можно успешно использовать при организации дистанционного обучения.

Литература

1. Курылев, А.С. Особенности разработки электронных средств организации учебного процесса студента / А.С. Курылев, М.Ю. Яковлева. – Астраханский гос. техн. ун-т [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dpk-ikt.ucoz.ru. – Дата доступа: 30.05.2012.
2. Иванцова, Н.В. Информационные и коммуникационные технологии в образовании / Н.В. Иванцова [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://dpk-ikt.ucoz.ru. – Дата доступа: 30.05.2012.
3. Зимина, О.В. Рекомендации по созданию электронного учебника / О.В. Зимина, А.И. Кириллов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dpk-ikt.ucoz.ru. – Дата доступа: 20.09.2012.

УДК 37.016.004

Василевский А.В.
(ПГУ, г. Новополоцк)

РЕАЛИЗАЦИЯ ТВОРЧЕСКОГО ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ПРЕПОДАВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ДИСЦИПЛИН

В высшем образовании, и в частности в обучении студентов инженерных специальностей, значительную роль играет внедрение педагогических инноваций, среди которых видное место занимает творческий подход к организации учебного процесса. Действительно, от качества реализации творческого подхода в обучении напрямую зависит возможность развития важнейших способностей будущего инженера, таких, например, как широта мышления, потребность в формировании собственного, более широкого кругозора, нестандартность подходов к решению профессиональных задач, умение осваивать новые области знаний и обновлять методы работы. Таким образом, одной из задач, которую

целесообразно пытаться решить в процессе подготовки студентов инженерных специальностей, является задача пробудить творческие способности студента, стимулировать его к собственным усилиям по их развитию.

Рассмотрим этот вопрос с позиции (и с применением накопленного опыта) преподавания специальных компьютерных дисциплин (таких, как «Основы автоматизации проектирования в строительстве» для специальности «Промышленное и гражданское строительство», «Информационные технологии в управлении недвижимостью» для специальности «Экспертиза, управление недвижимостью» и т.д.).

Творческий подход в условиях обучения будущих инженеров-строителей компьютерным дисциплинам можно реализовать:

1) в особенностях формулирования учебных задач;

2) в организации учебного процесса по дисциплинам (осуществляя творческие формы обучения);

3) в соответствующей организации образовательной среды.

При ***формировании учебных задач*** приходится исходить из целей, вступающих некоторым образом в противоречие друг с другом. С одной стороны, реализация творческого подхода предполагает, чтобы задача была насколько это возможно приближена к практике, напоминала реальные задачи, решаемые инженерами данной специальности. С другой – эта задача всё-таки является учебной, и в качестве учебной она должна быть:

– во-первых, освобождена от излишних вычислительных и проектирующих действий (затягивающих выполнение задачи, не способствуя при этом освоению нового, обретению полезных навыков);

– во-вторых, должна обладать достаточной широтой, охватывая как можно больший набор возможных вариантов, учитывая сопутствующие условия и влияющие на решение параметры и выявляя структурные связи как в пределах самой задачи, так и со всей областью задач данной отрасли. По возможности, процесс решения задачи должен предоставлять обучающемуся некоторую свободу в его проектирующих действиях, включать в себя необходимость обоснованного выбора варианта, или же процедуру оптимизации (поиска оптимального решения), осуществляемую не в автоматическом режиме, а при обязательном участии студента.

Так, например, при изучении расчётно-конструктивных программ (комплекс «Beta – Raduga», SCAD Office и т.д.) имеет смысл помимо частных задач освоения отдельных функций и приёмов работы в программах, решаемых в рамках лабораторных работ, формировать также творческие задания, преследующие конечные цели, приближенные к строительной практике. По пути к конечной цели – проектированию

строительных конструкций какого-либо здания или сооружения – студенту придётся пройти несколько промежуточных ступеней, на каждой из которых ему предстоит не только решить задачи с применением соответствующих программ (формирование расчётной модели в препроцессоре, анализ результатов статического расчёта, динамического анализа, оформление проектной документации, выполнение конструктивного расчёта), но и осуществлять более «глобальный» выбор: принимать и обосновывать принципиальные для всей задачи в целом решения (самостоятельный выбор видов применяемых конструкций, материалов, компьютерных программ, даже выбор объёмно-планировочного решения, если условие задачи сформулировано максимально обобщённо).

Таким образом, творческий подход может реализоваться как в особенностях выполнения разделов задачи (например, выбор программы, в которой будут производиться расчётные или проектирующие действия), так и в задаче в целом (примером последнего может служить задача подобрать комплект специализированного программного обеспечения условия организации, потребности и работы которой приведены обучающемуся в качестве исходных данных).

В ***организации учебного процесса*** по специальным компьютерным дисциплинам творческий подход может быть реализован путём применения творческих форм обучения. Это достигается как усилением «творческой» составляющей обычных семестровых заданий (контрольных работ, плановых коллоквиумов, курсовых работ и проектов, факультативных заданий, вопросов, заданий для самопроверки и подготовки к зачётам и экзаменам), так и внедрением особых форм, организующих самостоятельную работу студентов. К примеру, рефераты, обязательные к представлению и защите, по какой-либо из тем, изучаемым в семестре. Форма реферата особенно актуальна для компьютерных дисциплин, поскольку специализированное программное обеспечение постоянно развивается. Это связано с тем, что выходят новые версии программ с новыми возможностями, появляются новые программы, предназначенные для решения практически тех же задач, что и существующие, программы совершенствуются с помощью плагинов, дополнительных модулей и библиотек, возникают новые связи между программами и даже классами программ (возможность импорта и экспорта данных может превратить несколько ранее не связанных программ в мощный вычислительно-проектирующий комплекс) и т.д.

Таким образом, как бы оперативно ни обновлялось содержание лекций и лабораторных работ, нет никакой возможности учесть боль-

шую часть изменений, имеющих отношение к компьютерным дисциплинам, так как традиционная структура преподавания предполагает лишь самый общий обзор программных продуктов с последующим практическим изучением лишь нескольких из них (да и то, обычно, лишь в самых общих положениях). Поэтому особенно важно научить будущего специалиста работать самостоятельно – не только в практическом освоении программ, но и в теоретической части подготовки. Ведь для решения одной из важнейших задач – проектирования комплекса программного обеспечения (ПО) организации (которую в реальной практике решают обычные инженеры-строители, и лишь в крупнейших организациях – специалисты по САПР) – необходимо:

– уметь анализировать рынок специализированного ПО, уметь сравнивать программы (достоинства и недостатки, функциональные возможности и технические требования, виды математических моделей и нормативную базу, на основе которых работает программа);

– уметь проводить определение экономической эффективности приобретения той или иной программы.

Обрести эти умения, прикоснуться к этому роду деятельности студенты могут в процессе подготовки реферата, целью которого, к примеру, является сравнительное описание, хотя бы самое общее, возможностей ныне существующих версий программ по решению той или иной задачи.

Такими задачами могут быть:

– расчёт строительных конструкций на упругом основании;

– подбор армирования во внецентренно сжатых железобетонных конструкциях;

– расчёт зданий на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение.

При этом обсуждение и защита рефератов могут проводиться при участии всех студентов группы. Лучшие из рефератов могут быть представлены авторами на лекционных занятиях. Все положительно оцененные работы в электронном виде размещаются в медиатеке факультета и могут быть доступны всем обучающимся строительных специальностей.

В ***организации образовательной среды*** (например, на соответствующем факультете) реализация творческого подхода в освоении специальных компьютерных дисциплин может выразиться:

– в организации конкурсов творческих работ – соответствующих вышеописанным рефератам;

– в конкурсах курсовых и дипломных проектов, выполненных с применением определённых компьютерных программ;

– в проведении олимпиад по владению специализированными программами;

– в организации заседаний секций студенческих научно-исследовательских конференций, при условии, конечно, наличия достаточного количества студенческих работ соответствующей тематики;

– в проведении экскурсий «на производство» – в те строительные организации, которые в своей практике применяют вычислительные и расчётные программные комплексы;

– в приглашении для проведения семинаров представителей производителей программного обеспечения;

– в поощрении студентов, принимающих участие в международных конкурсах проектов, организованных производителями программного обеспечения для инженеров-строителей;

– в организации факультативов и платных курсов по освоению специализированных компьютерных программ.

В заключение необходимо отметить, что все эти формы реализации творческого подхода в образовательной среде факультета осуществимы только при обязательном условии наличия у студентов достаточно высокой мотивации – чувства ответственности, серьёзного отношения к овладению специальностью, умения учиться и самостоятельно мыслить.

УДК 004.4.236:519.72(07)

Вакульчик В.С., канд. пед. наук, доц.; Мателенок А.П.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Несмотря на то, что мы вступили в третье тысячелетие и что требования к специалистам высокого качества возросли, необходимо признать, что современная образовательная система готовит, в основном, инженера-исполнителя, но не инженера-творца и мыслителя. Это серьезное противоречие, несомненно, требует отдельного глубокого изучения. В этой связи в качестве одной из причин такого состояния выделенной проблемы видится резкое уменьшение количества часов на обучение высшей математике в инженерной подготовке. Овладение студентом методологией научно-исследовательской, поисковой деятельности без фундаментальных математических знаний становится проблематичным.

Обратим также внимание на наличие в вузовском учебно-познавательном процессе противоречия между необходимостью владения обучающимися методикой учения, привычкой и способностями к упорному, кропотливому, планомерному учебному труду в семестре (для усвоения достаточно объемных знаний по предмету, а в конечном итоге, для формирования конкурентоспособного специалиста) и фактическим отсутствием указанных качеств у многих современных студентов. В то же время при тенденции к массовости современного высшего образования, часть студенческой аудитории фактически не подготовлена к усвоению математики даже на базовом уровне. Поэтому возрастает роль содержательного и методологического компонента в преподавании математики на технических специальностях. Усиление последних может стать для таких студентов помощником не только в овладении методикой правильного распределения познавательных сил, а в идеале, и методикой учения вообще, но и в формировании базовых знаний по предмету, необходимых для соответствия приобретенных в вузе компетенций стандарту избранной специальности.

В этой связи методически целесообразна разработка специальных дидактических средств представления математической информации, обеспечивающих доступность ее овладения на всех этапах познавательного цикла, облегчающих ее структурирование и логическую организацию.

Сравнительный анализ различных способов представления информации позволяет сделать вывод о том, что визуальные способы являются в указанном смысле достаточно эффективными, так как не только делают ее более наглядной, но и представляют информацию в более структурированном и систематизированном виде.

Эффективная работа с большими информационными объемами требует развития мыслительных умений высокого уровня, включающих:

– умение осмысленно овладевать изучаемым материалом, выделяя в нем главное и отбрасывая второстепенное;

– умение анализировать, сравнивать, классифицировать, устанавливать причинно-следственные связи и т.д.

Мощным визуальным инструментом развития перечисленных умений и навыков являются разнообразные графические схемы – разновидность информационных моделей, навыки построения и исследования которых и должны систематически формироваться на лекционных и практических занятиях.

Граф-схемы состоят из блоков и стрелок. Каждый блок содержит в себе определенный математический объект: факт, понятие, теорему, идею и т.п. Стрелки служат компактным описанием определенного отрезка учебного материала, помогают обучающемуся определить общую структуру поня-

тия, теоремы, темы в целом. В конечном итоге они дают наглядное представление о системе учебного материала.

Методическая целесообразность применения граф-схем объясняется тем, что в мышлении обучающегося как бы возникает остов определенного элемента математического знания, это позволяет охватить изучаемую информацию единым взглядом, приводит знания в систему, обучающийся глубже проникает в суть объекта математической информации. В процессе учебной деятельности обучающиеся привлекаются к составлению граф-схем и работе с ними для изучения, повторения, применения определения, понятия, теоремы, темы, теории и т.п.

Самостоятельная работа по составлению граф-схем требует от студента обработки материалов лекций, необходимой информации из учебника, изучения связей и отношений между фактами, понятиями, теоремами. В ходе такой познавательной работы аналитико-синтетического характера у обучающего возникает потребность в воспроизводящее-преобразующей и творческой деятельности на частично-поисковом и творческом уровне познавательной самостоятельности. И если этого добиваться постоянно и систематически, то успех в обучении будет обязательно.

По граф-схемам легко прослеживаются внутрипредметные связи, что позволяет увязать различные математические понятия и темы в единое целое и помогает обучающему проследить логику построения теорий, а преподавателю организовать в экономичной по времени форме изложение нового материала, осмысление и закрепление изучаемого материала, обобщение и систематизацию изученного материала, этап контроля знаний, умений и навыков, усвоенных учеником.

Составление *граф-схемы* способствует:

– развитию наглядно-образного мышления;
– формированию навыков работы с графической информацией;
– фиксации внимания при усвоении учебного материала;
– развитию познавательного интереса;
– активизации учебно-познавательной деятельности;
– конкретизации изучаемых вопросов;
– наглядной систематизации и классификации информации.

Графические схемы могут использоваться при изложении нового материала; для осмысления и закрепления изучаемого материала; при обобщении и систематизации изученного материала; на этапе контроля уровня владения студентами математических знаний, умений и навыков.

Проиллюстрируем граф-схему понятия «Определенный интеграл», которую методически целесообразно построить в процессе ее изучения на завершающей лекции с целью обобщении и систематизации полученной

информации. Составление указанной модели дает обучающимся возможность еще раз повторить понятие определённого интеграла, проследить сложный, многотрудный путь, который приходится проделывать математической мысли, чтобы создать удобный математический аппарат, позволяющий получать серьезные практические результаты. Основное понятие является ключевым, поэтому при составлении граф-схемы помещается в ее центр. Построение модели (таблица) происходит благодаря эвристическому диалогу преподавателя с учащимися.

№	Вопрос преподавателя	Ответ аудитории
1	Какие математические понятия приводят к определению определённый интеграл?	– предел функции – дифференцирование функции – понятие криволинейной трапеции – неопределенный интеграл
2	Что необходимо знать для успешного вычисления определённого интеграла?	– формулу Ньютона – Лейбница – замену в определенном интеграле – интегрирование по частям в определённом интеграле
3	Какие свойства определенного интеграла вы знаете?	– алгебраические – неалгебраические
4	Что еще входит в понятие определённого интеграла?	– приложения
5	Какие приложения вы знаете?	– геометрические – физические
6	Перечислите геометрические приложения определённого интеграла?	– вычисление длины дуги – вычисление объема тела – вычисление площади поверхности
7	Перечислите физические приложения определённого интеграла?	– вычисление пути, пройденного телом – вычисление работы переменной силы – статистические моменты – координаты центра тяжести – несобственный интеграл – вычисление давления на пластину

При составлении схемы следует акцентировать внимание студентов на том, что родовым понятием в схеме является понятие интеграл, а остальные понятия, кроме «предел функции, дифференцирование функции, понятие криволинейной трапеции и неопределенный интеграл», являются видовыми дескрипторами.

Обращаем внимание, что для экономии учебного времени целесообразно применить информационные технологии, а именно презентацию, выполненную в Microsoft PowerPoint.

Используя анимационные возможности представленной программы, по мере ответов студентов на экране будут появляться элементы граф-

схемы (рис. 1) до полного завершенного варианта (рис. 2). Схема составляется по щелчку компьютерной мыши. Для более яркого образа выбирается различная цветовая гамма смысловых блоков.

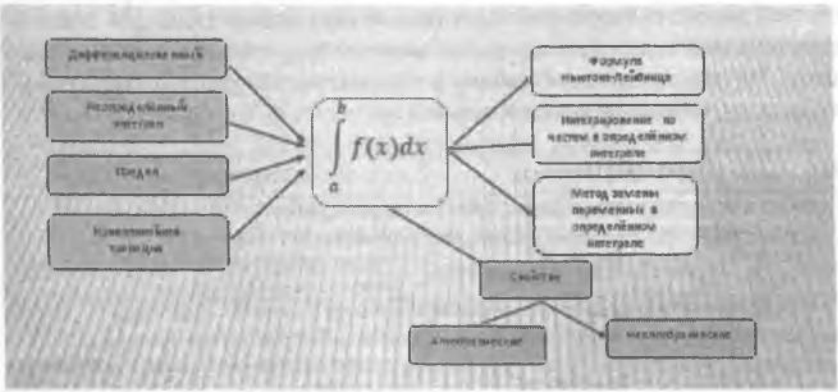


Рис. 1. Элементы граф-схемы

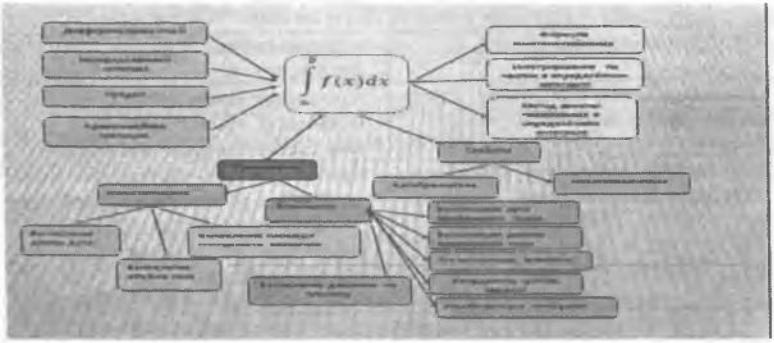


Рис. 2. Граф-схема

По мнению, Е.А. Макарова, доктора психол. наук, профессора, при особом структурировании, кодировании и предъявлении материала, с помощью средств визуализации можно в свернутом виде передавать большие объемы информации, актуализировать познавательные механизмы, дополняющие вербальный канал поступления информации. Такие структурированные массивы информации представляют собой учебные материалы нового поколения, в которых образ и текст соединяются органично, взаимно усиливая друг друга. Основная идея таких материалов – передать мысль в

единстве образа и текста, исходя из положения, что образная и словесная составляющие мышления по отдельности не так сильны, как в единстве. Визуализация в обучении основана на использовании особых свойств психических образов как объектов познания и выражает степень доступности и понятности этих образов для субъекта. Она опирается на один из важнейших принципов обучения – принцип наглядности.

Установлено, что графические схемы целесообразно применять для осмысления и закрепления изучаемого материала. С помощью средств визуализации могут быть задействованы особые методы управления образовательной деятельностью, что оказывает влияние на активность обучаемых, их саморегуляцию в обучении. При методически грамотном использовании методов визуализации может происходить переход обучающихся на более высокие уровни познавательной деятельности, стимулироваться овладение предметным содержанием с элементами креативности, эвристики. При активизации мышления, через специально организованную самостоятельную деятельность, формируется познавательная самостоятельность на определенном уровне, а это является предпосылкой развития студента как познающего субъекта.

Литература

1. Визуализация как способ структурирования знаний, формирования ментального пространства и развития интеллекта: метод. пособие для преподавателей высш. учеб. заведений. – Таганрог: Изд-во НОУ ВПО ТИУиЭ, 2009.

УДК 378.016:004

Волик А.Р., канд. техн. наук; Черкас Л.А., канд. техн. наук
(ГрГУ им. Я. Купалы, г. Гродно)

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА СОВРЕМЕННОГО ВУЗА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

Высшее образование направлено на развитие личности студентов, их интеллектуальных и творческих способностей, получение ими специальной теоретической и практической подготовки [1]. Для достижения поставленных целей учебный процесс требует постоянного совершенствова-

ния. Это связано со сменой приоритетов, социальных ценностей, изменениями, происходящими в государстве и во всем мире. С введением образовательных стандартов нового поколения и переходом на дифференцированные сроки подготовки специалистов необходимо изменять стратегию и тактику обучения в вузе. Перед обучением теперь ставятся задачи не только усвоения студентами знаний и формирования профессиональных умений и навыков, но и развитие творческих и коммуникативных способностей. В рамках компетентностного подхода образование и обучение становится комплексным, многофакторным. Все более делается упор на познавательную активность самого студента, на управляемую самостоятельную работу. В связи с этим необходима оптимизация структуры учебной деятельности. Существует ряд факторов, приводящих к повышению доли аудиторных занятий в ущерб самостоятельной работе. И один из этих факторов – слабая информационная база. Решение данной проблемы возможно путем создания и развития информационной базы не в виде стандартных, т.е. бумажных, книг, пособий, учебников, а с использованием электронных ресурсов.

В процессе становления и развития инженерно-строительного факультета в Гродненском государственном университет им. Янки Купалы проблема с информационными ресурсами стояла очень остро. В кратчайшие сроки необходимо было обеспечить учебный процесс всеми учебными и методическими разработками. Данная проблема была решена созданием на факультете единой информационной среды (в виде доступа к каталогам, файлам по дисциплинам), позволяющей студентам своевременно получать необходимые материалы (рис. 1). Следующим шагом было размещение материалов на сайте факультета, использование СОП e-university, Moodle.



Рис. 1. Компьютерная сеть инженерно-строительного факультета



Рис. 2. Образовательный портал
Гродненского государственного университета им. Я. Купалы

С сентября 2011 года приказом ректора ГрГУ им. Я. Купалы «для развития информационно-коммуникационно-технологической компетентности участников образовательного процесса, определяющей их готовность успешно функционировать в условиях мобильного информационного общества» в университете создан образовательный портал (рис. 2).

Цель образовательного портала – информационно-методическое обеспечение всех видов деятельности кафедр университета, повышение эффективности взаимодействия преподавателей и студентов.

Образовательный портал [2] – это информационная система, обеспечивающая пользователям единый авторизованный персонифицированный доступ к внутренним и внешним информационным ресурсам и приложениям.

С точки зрения основной деятельности – это интегрированная система управления распределенными информационными ресурсами.

С точки зрения организации управления – это организация рабочих мест с единой точкой доступа ко всей информации, необходимой для выполнения соответствующих функций.

С технической точки зрения – это информационная система, интегрирующая различные источники данных и отдельные функциональные системы с единой точкой входа и унифицированными правилами представления и обработки информации. Традиционно структура портала включает:

– презентационную часть (меню портала, участники и персоналии, новостной блок, услуги, мероприятия, др.);

– информационную часть; административную часть (регистрация и аутентификация, ограничение доступа, поиск информации на портале, средства экспорта/импорта информации, тестирование).

Функции портала: включение приложений; управление содержимым; управление пользователями; поддержка коммуникаций; персонализация и т.д. (рис. 3).

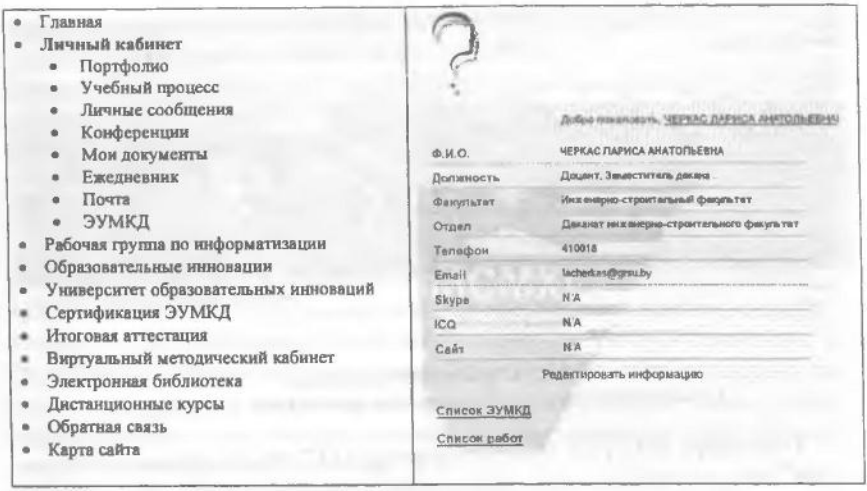


Рис. 3. Структура портала

Для наполнения портала за преподавателями закрепляются дисциплины в соответствии с нагрузкой текущего учебного года (рис. 4).

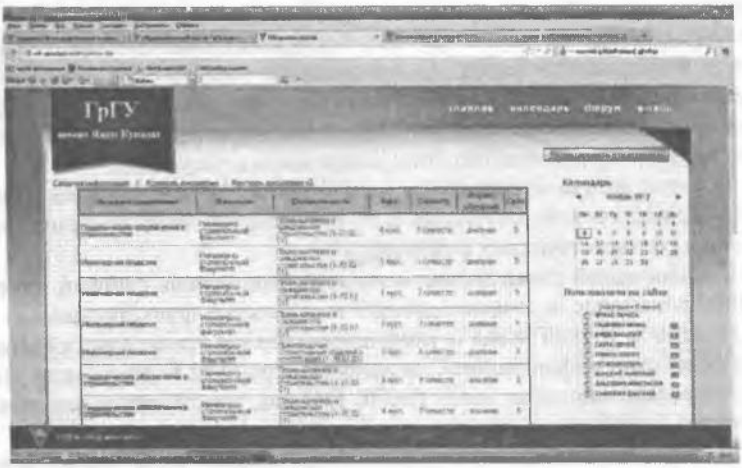


Рис. 4. ЭУМКД преподавателя

Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине соответствует Положению об электронном учебно-методическом комплексе

по дисциплине для высших учебных заведений Республики Беларусь [3] и содержит: титульный экран ЭУМКД, карту ЭУМКД, учебную программу по изучаемой дисциплине, теоретический блок, практический блок, блок контроля знаний. В ЭУМКД выделяются обязательная, рекомендуемая и вариативная части. Образовательные ресурсы соотносятся к видам хранения, а именно: текстовые ресурсы; графические иллюстративные материалы; аудиоинформация; видеоинформация; мультимедиа. Самые эффективные электронные образовательные ресурсы – мультимедиаресурсы. В них учебные объекты представлены множеством различных способов: с помощью текста, графиков, фото, видео, звука и анимации. Таким образом, используется все виды восприятия; следовательно, закладывается основа мышления и практической деятельности обучающегося.

Использование электронных образовательных ресурсов значительно облегчает и сокращает время подготовки преподавателя к занятиям, а также дает возможность «конструировать» учебные занятия, определяя их оптимальное содержание, формы и методики обучения; способствует организации учебного процесса не только в традиционной, но и в проектной, дистанционной формах обучения.

Образовательный портал также предоставляет следующие возможности:

– объективное измерение и оценка результативности обучения;

– управление учебной деятельностью студента, адекватно его уровню знаний, умений и навыков, а также особенностям его мотивации к обучению;

– создание условий для индивидуального самостоятельного обучения;

– постоянное и оперативное общение преподавателей и студентов, нацеленное на повышение эффективности обучения;

– обмен информацией в текстовом и графическом режиме;

– организация совместной работы с учебной информацией в режиме on-line;

– пересылка учебно-методической информации в виде файлов в реальном режиме времени.

В настоящее время в университете и на факультете, в рамках информатизации образовательного процесса, созданы условия для функционирования образовательного портала с обеспечением доступа на основе авторизации, выбора доступного факультета, кафедры, специальности, дисциплины, курса, группы; размещены ЭУМКД с наполнением имеющимися материалами по дисциплинам кафедр; ведется статический учет ЭУМКД, проводится анализ качества ЭУМКД.

В заключение отметим некоторые преимущества электронных ЭУМКД по сравнению с традиционными:

– время на создание учебных материалов на электронных носителях по сравнению с бумажными сокращается;

– возможна быстрая модернизация электронных ЭУМКД;

– интегрируются значительные объемы информации на одном носителе;

– технология мультимедиа позволяет ярко и наглядно представить учебный материал;

– гипертекстовая технология предоставляет возможность индивидуальной схемы обучения;

– предоставляется возможность самопроверки полученных знаний;

– ускоряется процесс тестирования и проверки знаний и навыков, отслеживание и направление траектории обучения.

Литература

1. Кодекс об образовании Республики Беларусь: принят Палатой представителей 2 дек. 2010 г.: одобр. Советом Респ. 22 дек. 2010 г. – Минск: Амалфея.
2. Отличие информационного портала от сайта: особенности и преимущества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://galleo.ru/articles/otlportala.
3. Положение об электронном учебно-методическом комплексе по дисциплине для высших учебных заведений Республики Беларусь, утв. 29.12.2008 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.nihe.bsu.by/info/10/umk2.doc.

УДК 371.261 (378.146)

Волик А.Р., канд. техн. наук; Черкас Л.А., канд. техн. наук
(ГрГУ им. Я. Купалы, г. Гродно)

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ НАКОПИТЕЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ И КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ

В соответствии с Кодексом об образовании Республики Беларусь получение образования сопровождается текущей, промежуточной и (или) итоговой аттестацией [1].

Текущая аттестация – определение соответствия результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов, учебно-программной документации соответствующих образовательных программ, индивидуальных планов работы аспирантов, адъюнктов, докторантов, соискателей и (или) программ-минимумов кандидатских экзаменов по специальным дисциплинам.

Промежуточная аттестация – определение соответствия результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стан-

дартов и (или) учебно-программной документации соответствующих образовательных программ с учетом результатов текущей аттестации.

Оценка учебных достижений – процесс по установлению степени соответствия реально достигнутых результатов планируемым целям. Оценке должны подлежать как объём, системность знаний, так и уровень развития навыков, умений, компетенций, характеризующих учебные достижения студентов в учебной деятельности [2].

Не секрет, что многие студенты не утруждают себя работой в семестре, да и на сессии надеются на счастливый билет. Это приводит к тому, что знания, полученные в последний день перед экзаменом, не могут быть крепкими, они фрагментарны и не долговременны. В связи с этим, многие вузы активно внедряют накопительно-рейтинговую систему (НРС).

В Гродненском государственном университете в рамках реализации накопительно-рейтинговой системы осуществляется текущий контроль компетенций студентов [3]. Вид, форма проведения текущего контроля знаний студентов устанавливается кафедрой, ответственной за преподавание данной учебной дисциплины, фиксируется в учебной программе (рабочий вариант) по дисциплине и доводится до сведения студентов на первом занятии по данной дисциплине. При разработке системы текущего контроля учитываются особенности учебной дисциплины и учебно-педагогические принципы ее преподавания.

Весовой коэффициент p текущего контроля определяет вклад текущего контроля в экзаменационную оценку знаний и компетенций студента по дисциплине. Значение весового коэффициента p должно быть не менее 0,4 и не более 0,6. Значение коэффициента устанавливает кафедра и доводит его до сведения студентов в течение первой недели семестра.

Оценка текущего контроля может быть интегрированной из отметок, выставленных преподавателем за период, предшествующий промежуточной аттестации, а также учитывать работу студента в научно-практических мероприятиях (олимпиадах, конференциях, семинарах, научных кружках и т.д.) по профилю преподаваемой дисциплины. Аттестация должна проводиться не менее одного раза в семестр по дисциплинам, итоговой формой контроля по которым в данном семестре является экзамен. Решение о количестве аттестаций принимает кафедра.

Для студента, пропустившего мероприятие текущего контроля по уважительной причине, деканат, по согласованию с кафедрой, устанавливает дополнительные сроки проведения мероприятия и аттестации. Студенту, который пропустил мероприятие текущего контроля без уважительной причины, выставляется отметка 1 (один) за данное мероприятие. Сту-

дент участвует в последующих мероприятиях текущего контроля независимо от результатов предыдущих.

На инженерно-строительном факультете накопительно-рейтинговая система используется с 2010 года по дисциплинам «Инженерная геодезия» и «Железобетонные конструкций», «Конструкции из дерева и пластмасс», а в 2011/2012 учебном году в соответствии с приказом ректора накопительно-рейтинговая система внедрена по всем дисциплинам, формой контроля у которых является экзамен.

Рассмотрим принцип НРС на примере дисциплины «Инженерная геодезия», читаемой на первом курсе для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство». В таблице приведена система оценки по дисциплине (текущая и промежуточная). Итоговая оценка по дисциплине – средневесовое значение: за работу в семестре – вес 0,4; оценка на экзамене – вес 0,6.

Система оценки знаний по дисциплине «Инженерная геодезия»

Группа ПГС-2		Тема 1.1-1.2	Тема 1.3	Тема 1.4	Тема 1.5	Тема 1.6	Тема 2.4	Работа за семестр	Оценка на экзамене	Итоговая
1	Басалыга А.С.	5	5	4	7	5	8	6+1*	8	8
2	Карась Н.В.	8	2	3	3	4	3	4	2	2
3	Колоша И.И.	7	5	4	4	5	6	5	3	4

* – добавлен балл за участие в научном кружке.

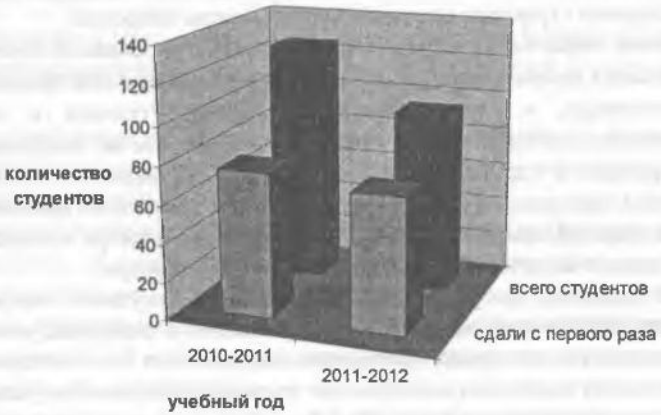


Рис. 1. Динамика студентов, сдавших экзамен с первого раза

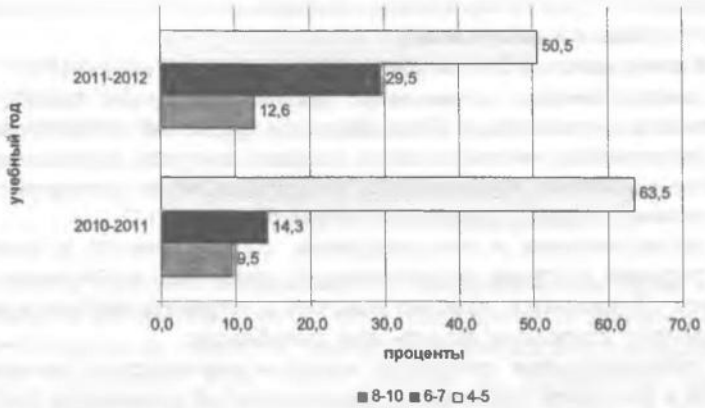


Рис. 2. Динамика качественного изменения

Анализ текущего контроля знаний по дисциплине «Инженерная геодезия» показал:

– количество студентов, сдавших экзамен по дисциплине с первого раза, увеличилось на 14,4 %;

– число студентов, получивших минимальные оценки «пять» и «четыре», снизилось на 13 %;

– около 15 – 20 % стараются повысить оценку за работу в семестре (в рамках дополнительных образовательных услуг);

– 15 % студентов с учетом рейтинга понизили свою оценку на экзамене, по некоторым дисциплинам до 60 %;

– 15 % студентов повысили свою оценку на экзамене;

– 9 % студентов смогли получить положительную оценку на экзамене с учетом рейтинга, при получении экзаменационной оценки «3».

Также положительными результатами использования НРС явилось:

– сокращение количества пропущенных занятий (в среднем на 30 %);

– более равномерное распределение нагрузки у студентов и преподавателей в течение семестра (особенно с учетом проведения промежуточного контроля графика выполнения учебной работы), что способствует сдаче всех видов контроля в срок (РГР, контрольные работы, курсовые работы и проекты) и своевременному выходу на сессию;

– стимулирование студентов к участию в научно-исследовательской работе и других видах работ (написание статей, докладов и т.д.), выходящих за рамки учебных программ дисциплин. Как результат, на заседаниях

кафедральных студенческих научных секций в мае 2012 года было сделано около 50 докладов и выступлений.

В конце хотелось бы отметить *положительные функции НРС*:

– диагностическая: установление фактического уровня знаний, умений, навыков и компетенций обучающихся по предметам учебного плана;

– развивающая: систематичность текущего контроля предполагает регулярную подготовку обучающегося, что обуславливает совершенствование и систематизацию полученных знаний и умений;

– воспитывающая и стимулирующая: систематичность и неизбежность текущего контроля дисциплинирует, организует и направляет деятельность обучающихся, помогает выяснить и устранить пробелы в знаниях, формирует стремление развить свои способности;

– информирующая: результаты контроля информируют деканат факультета и родителей (особенно на первом курсе) об успешности учебного процесса;

– корректирующая: обеспечивает оперативное управление учебной деятельностью обучающегося и её корректировку.

Для улучшения использования накопительно-рейтинговой системы на факультете *планируется*:

1) проведение обучающих семинаров для молодых преподавателей факультета по организации, совершенствованию и внедрению накопительно-рейтинговой системы;

2) ознакомление с накопительно-рейтинговой системой и формой проведения контроля преподавателей других факультетов, ведущих занятия для студентов специальностей инженерно-строительного факультета;

3) контроль своевременного размещения положений о рейтинговой системе и оценочной шкалы по дисциплинам на «Образовательном портале» до начала семестров.

Литература

1. Кодекс об образовании Республики Беларусь: принят Палатой представителей 2 дек. 2010 г.: одобр. Советом Респ. 22 дек. 2010 г. – Минск: Амалфея.
2. Сазонов, Б.А. Балльно-рейтинговые системы оценивания знаний и обеспечение качества учебного процесса / Б.А. Сазонов // Высшее образование в России. – 2012. – № 6. – С. 28 –39.
3. Положение о накопительно-рейтинговой системе оценки знаний и компетенций студентов по дисциплинам дневной формы обучения, утв. приказом ректора ГрГУ № 848 от 30.06.2011.

УДК 514.18

Завистовский В.Э., канд. техн. наук, доц.;
Малаховская В.В.; Воробьева А.А.
(ПГУ, г. Новополоцк)

МЕЖПРЕДМЕТНЫЕ СВЯЗИ В ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИНАХ

Основной принцип межпредметной интеграции заключается в том, что элементы знаний общеинженерных и специальных дисциплин должны конструироваться из элементов знаний фундаментальных дисциплин путем их укрупнения. При таком подходе к организации учебно-познавательной деятельности обеспечивается непрерывность и преемственность в изучении дисциплин, отсутствие дублирования материала.

Традиционная дискретно-дисциплинарная модель реализации содержания обучения на протяжении продолжительного периода обеспечивала подготовку поколений высококвалифицированных специалистов, соответствовавших требованиям своего времени, однако новые общественно-экономические отношения, а также изменение требований к современному специалисту обуславливают необходимость ее коррекции. Формальная разобщенность родственных дисциплин в учебных планах, неоправданные различия в понятийно-терминологическом аппарате, слабое использование межпредметных связей в учебном процессе не способствуют целенаправленному формированию целостной системы знаний.

Интеграционный подход к освоению специальных дисциплин на деле реализует принцип связи теории с практикой, актуализируя знания в профессиональной деятельности. Кроме того, он значительно повышает уровень мотивации при изучении вспомогательных дисциплин, являющихся инструментарием при решении производственных задач [1,2].

Внутрипредметная интеграция методов, форм и средств обучения позволяет на совершенно новом уровне организовывать лекционные, лабораторные, практические занятия, самостоятельную работу студентов, курсовое и дипломное проектирование посредством:

– широкого использования коллективных форм познавательной деятельности (парная и групповая работа и др.) с учетом личностных характеристик при разработке индивидуальных заданий и выборе форм общения;

– выработки у преподавателя соответствующих навыков организации управления коллективной и индивидуальной учебной деятельностью студентов и педагогического общения;

– применения различных форм и элементов интерактивного, проблемного обучения, применения современных аудиовизуальных средств, информационных средств обучения;

– совершенствования содержания профессиональной подготовки.

Наиболее актуальной проблема межпредметных связей становится при подготовке конструкторских кадров, при этом, изучаемые в университете общепрофессиональные и специальные дисциплины, как правило, завершаются выполнением курсовых проектов, в которых графическая грамотность и компетентность проявляются наиболее наглядно. Одну и ту же деталь и машину в целом можно сконструировать в нескольких вариантах.

Создание машины – сложный творческий процесс, включающий в себя и разработку целого ряда проектно-конструкторской документации.

В практике курсового проектирования разработанная конструкторская документация приближается к уровню технического предложения с элементами эскизного проекта и разработке рабочей документации.

Использование различных систем автоматизированного проектирования, во многом, базируются на знаниях, полученных студентами при изучении машинной графики.

Навыки, полученные студентами при изучении курса графических дисциплин, востребованы в будущей практической деятельности вне зависимости от ее профиля.

Например, что собой представляет структурная модель детали?

Деталь – это изделие, которое изготовлено из материала одной марки без применения сборочных операций. По форме деталь представляет собой комбинацию геометрических тел, ограниченных поверхностями простейших форм – плоскими, цилиндрическими, коническими, сферическими, тороидальными и т.п. (рис. 1). Таких комбинаций, в зависимости от назначения детали, размеров, материала и др., может быть бесконечное множество, поэтому легко представить их разнообразие на практике.

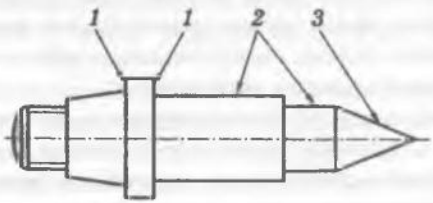


Рис. 1. Виды поверхностей детали:
1 – плоские; 2 – цилиндрические; 3 – конические

Простейшие геометрические тела, составляющие деталь, называются ее элементами (рис. 2).



Рис. 2. Деталь (*а*) и ее элементы (*б*)

Для выполнения определенных функций у деталей предусматриваются различные формы поверхностей. Они могут быть плоскими, цилиндрическими, коническими, резьбовыми, шлицевыми, эвольвентными, профильными и др.

Изделия машиностроения состоят из большого количества деталей, узлов и механизмов, взаимодействующих в процессе эксплуатации друг с другом. Каждая деталь в узле имеет определенное назначение, и их поверхности могут быть сопрягаемыми и свободными, или несопрягаемыми.

Для обозначения наружных, охватываемых элементов деталей применяется термин «вал», и охватываемые поверхности обозначаются строчными буквами, например, *a,d,c*.

Термин «отверстие» применяют для обозначения внутренних, охватывающих элементов и обозначают прописными буквами, например, *A, D, C*.

Для числовой оценки значений линейных величин (длин, высот, диаметров и т.п.) их выражают в виде размера в определенных единицах измерения.

В машиностроении все размеры в технической документации задают и указывают в миллиметрах.

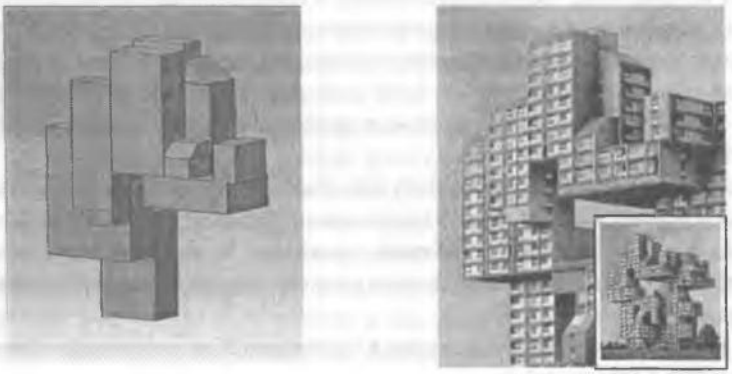
Преподаватель графических дисциплин должен иметь представление о тех технологических процессах, с помощью которых осуществляется изготовление деталей, а чертежи должны содержать максимальный объем информации об условиях работы изделия.

Например, любое современное здание можно представить как совокупность простых геометрических фигур, знания о которых позволяют проектировщикам создавать разнообразные архитектурные проекты (рис. 3, 4). Все проектируемые здания, их внутренний и внешний вид, участки городских застроек и т.д. обязательно изображаются в перспективе (рис. 4). Для построения перспективы сложные конструкции необходимо

разбить на составляющие элементы, представляющие собой простые геометрические поверхности (рис. 4, *а*). С помощью перспективного изображения композиционные недостатки могут быть устранены в процессе проектирования.



Рис. 3. Примеры использования геометрических поверхностей в архитектуре



а) *б*)

Рис. 4. Структурные элементы, применяемые при проектировании (*а*), и здание, построенное из них (*б*)

К конструкторским документам можно отнести графические и текстовые документы, которые в отдельности или совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки и т.д. При изучении графических дисциплин студенты выполняют чертежи деталей и сборочные чертежи, схемы и спецификации.

Межпредметные связи знакомят студентов с совокупностью разнородных явлений, законов, изучавшихся ранее раздельно, в разные время, объединенных в одном сложном понятии или техническом устройстве. Это позволяет осуществить раскрытие отдельных сторон знаний о них под новым углом зрения. Принцип преемственности в содержании учебных дисциплин играет роль организатора и координатора знаний, давая студентам представление о том, какую специальность они выбрали и какую работу они смогут выполнять в рамках этой и смежных специальностей.

Литература

1. Развитие теории интегративного технического образования на базе классической механики / В.Э. Завистовский [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Е. Педагогические науки. – 2008. – № 11. – С. 74 – 80.
2. Завистовский, В.Э. Развитие межпредметных связей в преподавании графических дисциплин / В.Э. Завистовский, В.В.Малаховская // Образовательные технологии в преподавании графических дисциплин: материалы V Республ. науч.-практ. конф., Брест, 22 – 23 марта 2012 г. – Брест, 2012. – С. 32 – 35.

УДК 691.87

Зверев В.Ф., канд. техн. наук, доц.
(БНТУ, г. Минск)

К ВОПРОСУ О ПРЕПОДАВАНИИ РАЗДЕЛА «КАМЕННЫЕ И АРМОКАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ» В КУРСЕ «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ» СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1-70 02 01 ПГС

Рассматривая вопрос преподавания раздела «Каменные и армокаменные конструкции» для специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», следует отметить, что в течение длительного периода менялось отношение к данному разделу. Если в 70-х годах XX столетия раздел «Каменные и армокаменные конструкции» был выделен в отдельный курс, то с течением времени в связи с расширением объема строительства зданий из сборного железобетона потребность выделения раздела «Каменные и армокаменные конструкции» отпала.

В конце XX столетия строительная отрасль опять вернулась к возведению зданий с применением каменных конструкций, кроме того, возникла необходимость в реконструкции и ремонте ранее построенных каменных зданий.

Следует отметить, что эксплуатируемые и вновь возводимые здания резко различаются между собой по конструктивным схемам несущего остова, конструктивным решениям, применяемым материалам. Все это влечет за собой большое влияние на прочностные, деформативные и теплофизические характеристики элементов каменных зданий.

Рассматривая конструктивные схемы кирпичных зданий, следует отметить, что важным фактором эксплуатационной пригодности здания является применение в зданиях той или иной конструктивной схемы, обеспечивающей жесткость и устойчивость здания. Если в здании с продольными несущими стенами наружные стены выполняют две функции, несущую и ограждающую, то возникают проблемы с их прочностными характеристиками, так как они имели меньшую прочность по сравнению с материалами используемых внутренних несущих конструкций.

Исходя из вышеизложенного была ограничена этажность зданий с продольными несущими стенами до 5 этажей.

При возведении зданий с поперечными несущими стенами, наружные стены выполнялись самонесущими, выполняющими в основном ограждающие функции.

Однако в зданиях с поперечными несущими стенами, вследствие разнонагруженности поперечных и продольных стен, возникли вертикальные и наклонные трещины в поперечных несущих стенах, что привело к значительным затратам на исправление указанных дефектов путем применения различных методов усиления стен.

Массовое строительство зданий в конце XX – начале XXI столетия с применением каменных конструкций показало, что наряду с применением новых каменных материалов и ухудшением качества изготовления традиционных каменных материалов показало, что дефекты проектной документации, нарушение технологии возведения зданий приводит к авариям зданий и сооружений. К сожалению, следует отметить недостаточную степень подготовленности инженерно-технических работников строительной отрасли.

Следует отметить, что в российских вузах раздел «Каменные и армокаменные конструкции» выделен в отдельную дисциплину, где читаются лекции в объеме 16 часов, практические занятия в объеме 16 часов и также выполняется курсовая работа с зачетом.

Учитывая изложенное, а также плотность распределения часов в типовом учебном плане специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», в БНТУ начиная с 2012/2013 учебного года предложено в разделе «Специальных дисциплин» п. 3.2.8 «Железобетонные и каменные конструкции» в 7 семестре ввести раздел «Каменные и армокаменные конструкции» путем перераспределения лекционных часов и часов практических занятий 7 и 8 семестров с включением в состав первого курсового проекта «Многоэтажное производственное здание», дополнительно контрольную работу с расчетом внецентренно сжатого кирпичного простенка.

УДК 691(075.8)

Киреева Ю.И., канд. техн. наук, доц.
(ПГУ, г. Новополоцк)

РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ (ЭСО) ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

Дисциплина «Строительное материаловедение» является одной из основополагающих для студентов строительных специальностей.

Многообразие материалов по составу, свойствам, назначению, необходимость причинно-следственного логического подхода к пониманию основополагающих закономерностей в материаловедении делают этот предмет информационно объемным и сложным для понимания и запоминания.

С целью облегчения усвоения теоретического материала, которое возможно, прежде всего, за счет повышения наглядности преподаваемого курса и концентрации всей необходимой учебно-методической, нормативной литературы в единый общедоступный блок, разработано ЭСО (электронное средство обучения) по данной дисциплине.

Особенно важен такой материал в электронном виде для студентов заочной и дистанционной форм обучения, которые могут его использовать независимо от места проживания.

Разработанное ЭСО включает:

– презентационный конспект лекций с примерами конкретного использования материалов и изделий различного назначения;

– учебное пособие с авторскими иллюстрациями;

– учебно-методический комплекс (УМК) для студентов заочной и дистанционной форм обучения;

– методические указания с контрольными вопросами допуска и защиты к выполнению лабораторных работ;

– тестовые контрольные вопросы для рубежного контроля степени усвоения пройденного теоретического материала;

– видеофильмы по получению и использованию основных строительных материалов;

– действующая нормативная литература (ГОСТы, СТБ, ЕН), необходимая, прежде всего, студентам заочной формы обучения для выполнения контрольных работ;

– справочник по современным строительным материалам и изделиям;

– вопросы к контрольным работам и экзаменам для студентов очной формы обучения;

– критерии экзаменационных оценок знаний студентов по 10-балльной системе.

Презентационный конспект лекций представляет собой теоретический материал, отображенный в сжатой форме на слайдах в виде графических рисунков, схем и таблиц.

Каждая тема заканчивается слайдами с примерами конкретных материалов и изделий определенного вещественного состава (полимерных, битумных, керамических и т.д.) и их конкретного использования как конструкционных, отделочных или специального назначения.

Последовательность представленного материала соответствует излагаемому в учебном пособии.

Учебное пособие (гриф Министерства образования Республики Беларусь) с авторскими иллюстрациями фактически является учебником, в котором подробно рассматриваются такие общие вопросы материаловедения, как состав и структура материала, их влияние на его свойства по отношению к различным по природе и интенсивности воздействиям (физическим, механическим, химическим). После рассмотрения и анализа основ материаловедения последующие главы и разделы посвящены изучению конкретных строительных материалов, объединенных по вещественному составу, свойствам и назначению.

Учебно-методический комплекс для студентов заочной и дистанционной форм обучения содержит структурно-логическую модель изучения предмета с использованием учебных модулей, а также адаптированные тексты, логические конспекты-схемы лекций, методические указания к выполнению комплексных лабораторных работ, задания к выполнению вариантных контрольных работ, контрольные вопросы для сдачи зачета и экзамена, словарь строительных терминов.

Методические указания к выполнению лабораторных работ включают описания методов испытания строительных материалов, требования стандартов по основным показателям, а также классификацию строительных материалов и изделий. В зависимости от поставленной цели лабораторные работы подразделяются на стандартные, предусматривающие определение по показателям соответствия материала стандарту, обобщающие – по применению материалов и изделий одинакового вещественного состава, но различных по назначению, с использованием имеющейся коллекции, и исследовательские с элементами научных исследований.

Приведенные тестовые контрольные вопросы, завершающие каждый раздел излагаемого материала, помогут студентам самостоятельно или при участии преподавателя оценить степень усвоения пройденного материала. Тестовый контроль включает вопросы с вариантами правильных и неправильных ответов.

Используемые видеофильмы содержат информацию о современных технологиях получения высокоэффективных строительных материалов различного назначения, способах повышения их эксплуатационных свойств, контролируемых показателях качества, а также примеры их рационального применения.

Динамичный материал в форме видеофильмов повышает зрительное и звуковое восприятие информации, что позволяет студентам лучше понять и закрепить такое определение, как искусственные материалы заданного состава и структуры, оценить возможность целенаправленного влияния на свойства и назначение материалов путем изменения технологических параметров.

В справочном пособии приведены нормативные требования, основные характеристики и информация о современных конструкционных, отделочных и специального назначения материалах, обеспечивающих долговечность зданий в зависимости от их архитектурных особенностей и условий эксплуатации. Справочник отличается от имеющихся нетрадиционной

формой изложения, подчиненной логической последовательности технологии возведения здания от фундамента до кровли.

Оценка знаний студентов дневной формы обучения проводится по результатам письменных контрольных работ. На втором курсе проводятся две и на третьем курсе три контрольные работы. Полнота и правильность ответов оценивается преподавателем в баллах от 40 до 100. Студентам, средний балл которых по работам более 65, при условии оценки каждой не ниже 55 баллов и наличия защищенных лабораторных работ, в зависимости от величины среднего балла (65-100), выставляется экзаменационная оценка от 7 до 10. Остальные студенты, написавшие на более низкие оценки, аттестовываются и допускаются к сессионному экзамену. Студенты, не написавшие контрольную работу, не аттестовываются и на экзамене получают дополнительные вопросы по темам не зачтенной контрольной работы.

Критерии экзаменационных оценок разработаны на основании стандарта специальности и утвержденной рабочей программы и представляют собой информацию о соответствии оценки тому объему знаний и умений, которые должны иметь студенты после изучения дисциплины «Строительное материаловедение».

Возможность получения экзаменационных оценок до начала сессии, как показывает практика обучения и результаты анкетирования студентов, заставляет их работать на протяжении всего периода изучения предмета.

Приведенная выше методика преподавания курса «Строительное материаловедение» и наличие общедоступных электронных средств обучения позволили повысить не только успеваемость студентов, но и качество их остаточных знаний.

Литература

1. Киреева, Ю.И. Строительные материалы: учеб. пособие / Ю.И. Киреева. – Минск: ООО «Новое знание», 2006.
2. Киреева, Ю.И. Строительное материаловедение для заочного обучения: учеб. пособие / Ю.И. Киреева, О.В. Лазаренко. – Минск: ООО «Новое знание», 2008.
3. Киреева, Ю.И. Современные строительные материалы и изделия: справочник / Ю.И. Киреева. – Ростов-н/Д: «Феникс», 2010.

УДК 378.2

Кремнева Е.Г., канд. техн. наук, доц.;
Шустова Н.В.; Плавинская Ю.В.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В УО «ПГУ»

Подготовка инженерно-педагогических работников в Полоцком регионе началась более четырех десятилетий назад. Необходимость подготовки диктовалось потребностями строящегося нефтехимического комплекса. Введение в эксплуатацию большого количества производств и колоссальные масштабы объекта союзного строительства требовали от ученых и специалистов университета в комплексе решать возникающие как научно-технические, так и инженерные задачи.

Строительство нефтехимического комплекса, тесные связи со строительными организациями и предприятиями способствовало открытию новых специальностей для подготовки инженерно-педагогических работников в вузе. В это же время из крупных научных и вузовских центров постсоветского пространства были приглашены известные ученые в области строительства: профессора А.М. Левин, С.И. Луговский, А.И. Семенов, благодаря которым были заложены основы соответствующих кафедр и их научные направления. Привлечение опытного профессорско-преподавательского состава позволило открыть в вузе новые специальности для обучения не только студентов, но и аспирантов.

Аспирантура университета открыта в 1989 году. Первоначально обучение велось по трем специальностям, две из которых относились к строительной отрасли:

– «Строительные конструкции, здания и сооружения»;

– «Теплогазоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

В 1991 году была открыта аспирантура по специальности «Технология и организация строительства».

На сегодняшний день в аспирантуре – 22 специальности.

В общем объеме специальностей аспирантуры специальности строительной отрасли составляют 20 %.

Открытие новых специальностей, в частности, строительного профиля связано с потребностями не только университета и региона, но и республики в целом.

Так, исходя из приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республики Беларусь в 2011 году в аспирантуре университета открыта специальность «Строительные материалы и изделия» [1].

В условиях современного научного общества, с учетом имеющихся традиций, организационная работа аспирантуры проводится по нескольким направлениям:

– отбор возможных кандидатур в аспирантуру на стадии обучения I и II ступени высшего образования, проведение профессионально-ориентированной работы со студентами, проявившими склонность к научной работе;

– подбор научных руководителей, включая оценку их научной и научно-педагогической работы, а также по количеству аспирантов и соискателей у научных руководителей, окончивших обучение, отчисленных за время обучения, защитивших диссертации;

– организация тщательного контроля обучения за аспирантами и соискателями.

Отбор кандидатов для подготовки в аспирантуре на протяжении последних нескольких лет ведется путем выявления среди студентов наиболее одаренных, талантливых молодых людей, которые в будущем смогут пополнить состав научно-педагогических работников.

В вузе, как правило, студенты начинают заниматься научными исследованиями с третьего курса, когда заканчивается изучение образовательных дисциплин и по учебному плану вводятся специализированные дисциплины. Это позволяет студентам более детально познакомиться с научно-исследовательской деятельностью специализированных кафедр и ведущими учеными. Именно тогда, с третьего по пятый курс, проводятся предметные олимпиады и конкурсы по специальностям, студенческие научные конференции.

Студентам, занимающимся научно-исследовательской деятельностью, предоставляется возможность опубликовать свои результаты в периодическом сборнике «Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета» и ежегодном сборнике материалов конференции «Junior researchers' conference» на английском языке.

Ежегодно на республиканский конкурс студенческих научных работ отправляется более 200 работ студентов. На протяжении трех последних

лет около 50 из этих работ ежегодно получают первую категорию, из них по три лауреата.

Анализ приема в аспирантуру УО «ПГУ» показывает, что не все желающие обучаться в аспирантуре занимались студенческой наукой и участвовали в республиканском конкурсе студенческих работ. Количество поступивших по специальностям строительного профиля в аспирантуру и участвующих в конкурсе студенческих работ показано на рисунке 1.

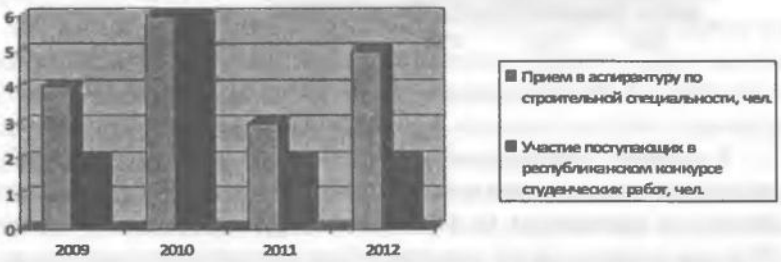


Рис. 1. Участие в республиканском конкурсе научных работ
Поступающих в аспирантуру по строительному профилю

Научные работы студентов в большинстве случаев продолжаются в исследованиях по программам магистратуры. Магистратура УО «ПГУ» открыта по 21 специальности, две из которых относятся к строительному профилю. Подготовка магистров осуществляется как для своих нужд, так и по запросам других учреждений и предприятий Республики Беларусь. В частности, в области строительства за последние три года подготовка осуществлялась для УО «ГрГУ им. Янки Купалы», «Витебскгражданпроект», ОАО «Химремонт», ОАО «Нафтан».

Анализ приема в аспирантуру УО «ПГУ» показывает, что, начиная с 2010 года, все поступившие в аспирантуру на специальности строительного профиля являлись магистрами.

В основном, УО «ПГУ» готовит аспирантов и соискателей для своих кафедр. Это связано в первую очередь с возрастающей потребностью университета в научных работниках высшей квалификации. В то же время осуществляется подготовка научных работников строительной отрасли для УО «ГрГУ им. Янки Купалы» г. Гродно и УО «БРУ» г. Могилева.

Целенаправленный подход к выбору научно-педагогических работников сказывается на составе обучающихся в аспирантуре. Общая числен-

ность обучающихся по строительным специальностям за последние три года увеличилась в среднем на 30% (рис. 2).

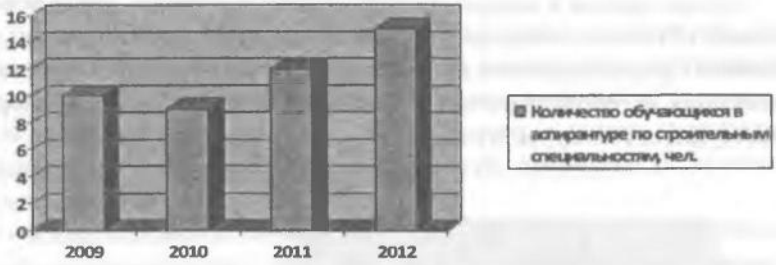


Рис. 2. Состав обучающихся в аспирантуре по строительному профилю

В условиях государственного заказа на подготовку научных работников высшей квалификации повышаются требования не только к желающим обучаться в аспирантуре, но и к их научным руководителям. В частности, с 2012 года введена оценка полноты работы научного руководителя по итогам года на Совете университета [2]. Осуществляется более тщательный подход к назначению руководителей из числа кандидатов наук [2].

За последние три года по строительным специальностям увеличилось количество научных руководителей. Их число возросло с семи человек в 2010 году до девяти – в 2012 году. Тем не менее наметилась тенденция снижения количества аспирантов у одного научного руководителя. Это связано с более жесткими требованиями, предъявляемыми не только к процессу обучения аспирантов (аттестации), но и к своевременности подготовки рукописи диссертации [2].

Результаты обучения аспирантов и соискателей рассматриваются на аттестациях. Начиная с 2006 года, вводятся ежеквартальные аттестации аспирантов. С 2011 года введены текущие (полугодовые и годовые) аттестации обучающихся. В 2012 году при завершении освоения содержания образовательной программы аспирантуры назначается итоговая аттестация аспирантов и соискателей на государственных аттестационных комиссиях [2]. Впервые в этом же году аспирантам и соискателям, успешно завершившим обучение в аспирантуре, государственной аттестационной комиссией присваивается квалификация «Исследователь».

Мониторинг закрепления аспирантов дневной формы получения образования, окончивших обучение в аспирантуре по строительным специаль-

ностям в 2009 – 2011 годах, показал, что все они работают на преподавательских должностях.

Анализ деятельности выпускников, закончивших обучение за последние три года, показывает, что научные исследования не являлись их единственным интересом. Кроме того, результативность успешной подготовки диссертации во многом зависела от взаимодействия в тандемах аспирант – научный руководитель, а также выпускник – заведующий кафедрой. Средняя продолжительность подготовки диссертаций по строительным специальностям после окончания обучения составляет около пяти лет.

В УО «ПГУ» для молодых исследователей имеются необходимые условия для плодотворной научной деятельности. Действующая система многоступенчатой подготовки позволяет выявлять наиболее способных молодых людей, которые смогут работать в условиях реального производства, над конкретными задачами экономики республики.

Однако падение престижа научно-педагогической работы, связанное с постоянно растущим прагматизмом поколений, вступающих в активную трудовую жизнь, приводит к оттоку наиболее способных молодых людей в те отрасли экономики и бизнеса, где более заметна отдача усилий.

Для закрепления молодых научных работников в университете длительное время проводится комплекс мероприятий. Работа по повышению материального благосостояния аспирантов в университете ведется главным образом путем создания временных научных коллективов для выполнения фундаментальных и прикладных исследований по заказам предприятий, а также путем совмещения педагогической нагрузки с работой в Институте повышения квалификации УО «ПГУ», однако это отвлекает молодых исследователей от работы над диссертацией.

Жилищные проблемы квалифицированных молодых сотрудников решаются, в основном, путем предоставления мест в общежитии квартирного типа. Вместе с тем для долгосрочного закрепления научно-педагогических работников, подготовка и повышение квалификации которых – длительный процесс, необходима государственная социальная поддержка, прежде всего в жилищных вопросах.

В связи с возрастающей потребностью университета в научных работниках высшей квалификации, на основании анализа приема в аспирантуру, обучения и выпуска можно сделать следующие выводы:

- проводить профессионально-ориентированную работу со студентами, проявившими склонность к научной работе на стадии обучения I и II ступени высшего образования, показывать привлекательность карьеры мо-

лодого ученного, привлекать способных молодых людей к работе во временных научных коллективах для выполнения исследований по заказам предприятий и организаций;

- считать работу в качестве научного руководителя аспирантов одной из приоритетных в нагрузке по кафедрам. Создать условия для подготовки рукописи диссертации в тандемах аспирант-научный руководитель, а также выпускник-заведующий кафедрой.

Литература

1. Классификация специальностей научных работников в соответствии с приоритетными направлениями научно-технической деятельности в Республики Беларусь на 2006 – 2010 годы, утв. приказом ГКНТ от 18.12.2006г. №332.
2. Положение о подготовке научных работников высшей квалификации в Республики Беларусь. утв. Указом Президента Республики Беларусь от 01.12.2011г. № 561.

УДК 001.61

Лукашевич В.П.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ УО «ПГУ»

Современный период развития естественнонаучных знаний характеризуется экологизацией всех наук. За последние 20 лет происходит становление еще одного нового научного направления – строительной экологии как части инженерной экологии.

Сегодня общепризнано, что стратегия развития 21 века определяет необходимость выработки экологического мышления, формирования экологической культуры, включающей систему знаний и умений и экологически оправданное поведение в процессе профессиональной деятельности. Капитальное строительство – фундамент всей экономики, и от его сосуществования с природной средой во многом зависит эффективность движения общества по пути устойчивого развития [1].

Таким образом, к профессиональным задачам инженера-строителя добавились задачи экологизации строительного производства, а именно:

– применение экологически безопасных строительных материалов и технологий;

– использование экологически безопасных архитектурных и планировочных решений; экологическая реконструкция городской среды;

– строительство зданий и сооружений по энергосберегающим технологиям, снижение энергопотребления и исключение теплопотерь при их эксплуатации;

– придание зданиям и сооружениям биопозитивных свойств, позволяющих им органично вписываться в природную среду;

– сокращение отходов при строительстве; рециклинг;

– рекультивация нарушенных при строительстве территорий;

– использование экологически безопасного техногенного сырья для изготовления строительных материалов и изделий;

– внедрение систем экологического мониторинга строительства на всех стадиях жизненного цикла объекта;

– всесторонний и высокоэффективный экологический контроль принимаемых технологических решений;

– минимизация негативных воздействий (загрязнения, сверхнормативный шум, вибрация) на естественные экологические системы;

– проведение государственной экологической экспертизы;

– совершенствование нормативно-правовой базы для обеспечения устойчивого экологически безопасного строительства;

– организация и развитие системы непрерывной экологической подготовки для всех, принимающих решения в сфере строительства.

Последнее положение подкреплено законодательно [2].

Вследствие этого дисциплина «Отраслевая экология», которую на 5 курсе изучают студенты специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», существенно дополняет знания, которые они получают из курса «Основы экологии», а также по социально-общественным и специальным дисциплинам. Подготовка учебного курса по отраслевой экологии, его методологическое и методическое обеспечение, выбор средств информационной поддержки определили необходимость поиска и разработки новых педагогических методов и эффективных инновационных образовательных технологий. К настоящему времени имеется много учебников и пособий по экологии, в которых излагаются классические разделы, а прикладные аспекты, например, в частности, касаю-

щиеся строительного производства, отражены крайне незначительно, без определенной системы. Поэтому моделирование содержания учебного материала, форм и методов преподавания курса «Отраслевая экология» с учетом его места и роли в общей подготовке студентов, междисциплинарность в соответствии с требованиями общеобразовательного стандарта нового поколения, т.е. взаимосвязь с другими дисциплинами (строительные материалы, технология строительного производства, организация строительного производства, механизация и автоматизация в строительстве, проектирование реконструкции зданий и сооружений, энергосберегающие технологии в строительстве, охрана труда, экономика строительства и др.) и будущей профессиональной деятельностью специалистов строительного профиля – очень ответственный этап на пути обучения [3]. Курс состоит из 16 часов лекций, 16 часов практических занятий и недифференцированного зачета. Темы лекций и их содержание предложены после тщательного отбора и структурирования большого количества информации по самым различным проблемам строительной экологии с учетом особенностей Витебского региона и г. Новополоцка, представляющего из себя крупный нефтехимический промышленный узел с многочисленными экологическими проблемами.

В 2009 году разработан и издан учебно-методический комплекс по дисциплине «Отраслевая экология». Весь материал представлен в виде 13 тем лекционного курса и 6 тем для практических занятий. Предусмотрен коллоквиум – письменная контрольная работа, рейтинговая система контроля и оценки учебной деятельности студентов. В УМК последовательно, в соответствии с требованиями стандарта, рассматриваются экологические нарушения, проблемы загрязнения и защиты атмосферы и гидросферы в зоне влияния строительного производства, основные экологические требования при осуществлении строительной деятельности [4]. В композиционном построении первые темы отражают возникновение проблемы строительной экологии, принципы концепции государственной политики Республики Беларусь в области охраны окружающей среды, понятия и представления об окружающей среде (общие положения, позволяющие от курса «Основы экологии» перейти к курсу «Отраслевая экология»). Большое внимание уделяется изучению особенностей строительного техногенеза на современном этапе, снижению влияния производственных процессов на окружающую среду, безопасности строительных материалов. В теме «Рациональное использование земель в строительстве» подробно рассматриваются экологически безопасные технологии устройства основа-

ний, порядок отвода земель для строительства, рекультивация земель по окончании строительства. Среди основных направлений природо- и ресурсоохранной деятельности выделяют создание и развитие малоотходных и безотходных производств, переработку и использование отходов, особенно для строительства (тема 7). Большое внимание уделено разделу «Средоохранное проектирование и производство работ», в который включены вопросы экологического мониторинга строительства, экологического менеджмента и аудита в строительстве, проведения государственной экологической экспертизы. Завершают курс экономические и правовые аспекты отраслевой экологии, вопросы международной деятельности и сотрудничества. Лекции проводятся в виде презентаций в программе «PowerPoint».

Практические занятия содержат самый широкий спектр экологических расчетов с использованием существующих методик, дополняют и конкретизируют лекционный материал. Они позволят закрепить изучение как основных экологических нормативов, так и специальных, соответствующих строительному профилю, параметров (например, экологический паспорт проекта и др.) [5].

Учебно-методический комплекс обеспечивает возможность успешной организации управляемой самостоятельной работы студентов. Вследствие этого уже второй год дисциплина изучается в контексте управляемой самостоятельной работы студентов (УСРС) в соответствии с разработанным и утвержденным графиком. Это позволяет использовать различные методы проведения занятий, такие, как дискуссии, подготовка рефератов по самым разнообразным темам устойчивого экологически безопасного строительства, с которыми студенты очень охотно, с интересом выступают на курсе, тестирование.

В качестве планируемого результата после изучения курса предполагается интеграция студентами новых знаний и их комбинаций, непосредственная реализация их при подготовке к государственному экзамену, в дипломном проектировании, при выполнении раздела «Охрана природы» с учетом всех современных требований, а также в будущей производственной деятельности.

Анализируя учебный процесс изучения дисциплины «Отраслевая экология» на предмет его целостности и эффективности, соответствия достигнутого результата планируемому, можно сделать вывод о настоятельной необходимости осуществлять поисковую деятельность, изучать, обобщать, внедрять в учебный процесс различного рода инновации, новые формы, методы, темы, технологии обучения, создавать атмосферу продуктивно-

познавательного сотрудничества в процессе взаимодействия со студентами, учитывать новые требования, которые постоянно ставит сама жизнь.

Литература

1. Передельский, Л.В. Строительная экология: учеб. пособие / Л.В. Передельский, О.Е. Приходченко. – Ростов н/Д: Феникс, 2004.
2. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26.11.1992: с изм. и доп.
3. Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф., 2000.
4. Образовательный стандарт ОСРБ 1-70 02 01-2007 специальности «Промышленное и гражданское строительство».
5. Лукашевич, В.П. Отраслевая экология: учеб.-метод. компл. для студ. специальности 1-700201 «Промышленное и гражданское строительство» и слушателей ИПК УО «ПГУ» специальности 1-700271 «Промышленное и гражданское строительство» / В.П. Лукашевич. – Новополоцк: ПГУ, 2009.

УДК 372.8

Скрабатун М.А., Воробьева А.А., Малаховская В.В.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ

Контроль уровня знаний – один из важнейших элементов учебного процесса, от правильной организации которого во многом зависит эффективность обучения. Основная цель контроля знаний и умений состоит в обнаружении достижений, успехов студентов, а также определении пробелов в знаниях.

В настоящее время используются такие методы, как устный (опрос, доклад, экзамен, защита) и письменный контроль (контрольная работа, экзамен, тестирование), самостоятельная работа (домашнее задание, реферат, курсовая и дипломная работа, тестирование).

Одним из самых научно обоснованных и эффективных способов контроля знаний является тестирование, функции которого состоят в следующем [1]:

1. Диагностическая функция – заключается в выявлении уровня знаний, умений, навыков обучаемых.

2. Обучающая функция – состоит в мотивировании студента к активизации работы по усвоению учебного материала.

3. Воспитательная функция – дисциплинирует, организует и направляет деятельность студентов, помогает выявить и устранить пробелы в знаниях, формирует стремление развить свои способности.

По времени проведения контроль делится на текущий, тематический, рубежный, итоговый, заключительный [2].

Текущий контроль помогает дифференцировать студентов на успевающих и неуспевающих, мотивирует обучение (опрос, контрольные, задания, проверка данных самоконтроля).

Тематический контроль – это оценка результатов определенной темы или раздела программы.

Рубежный контроль – проверка учебных достижений каждого студента перед тем, как преподаватель переходит к следующей части учебного материала, усвоение которого невозможно без усвоения предыдущей части.

Итоговый контроль – экзамен по курсу. Это итог изучения пройденной дисциплины, на котором выявляется способность студента к дальнейшей учебе.

Заключительный контроль – государственный экзамен, защита дипломной работы или дипломного проекта, присвоение квалификации Государственной экзаменационной комиссией.

Тестирование применяется на различных этапах контроля знаний, которое помогает преподавателю выявить структуру знаний студентов и на этой основе дает возможность в значительной мере индивидуализировать процесс обучения путем подбора индивидуальных заданий для практических занятий, самостоятельной работы, позволяет прогнозировать темпы и результативность обучения каждого студента.

Компьютерное тестирование является эффективным способом проверки знаний и находит все большее применение в образовании.

Компьютерные тесты представляют собой особого вида задания, позволяющие групповым способом оперативно проконтролировать степень усвоения знаний и приобретения умений и навыков обучаемых на занятиях, установить внутреннюю и внешнюю обратные связи, на основании которых студент и преподаватель осуществляют функции управления про-

цессом обучения. В отличие от бланковых систем тестирования, компьютерные тесты позволяют использовать разнообразные методы контроля оценки знаний обучаемых, снизить финансовые и временные затраты на тестирование [3]. Тестирование является одной из наиболее технологичных форм проведения автоматизированного контроля с управляемыми параметрами качества. В этом смысле ни одна из известных форм контроля знаний с тестированием сравниться не может. В настоящее время разработано множество компьютерных программ, служащих для проведения тестирования, например, для осуществления контроля по графическим дисциплинам можно использовать My Test, Hot Potatoes, Easy Test Creator II, Mental Control.

Экспериментальные исследования [4] показывают, что оптимальным является 6 – 8 циклов текущего контроля. Достигнуть многоэтапного контроля можно с помощью автоматизированных (компьютерных) систем, позволяющих осуществлять более всесторонний и полный анализ качества знаний у обучаемых. Кроме того, возникает возможность оперативно обрабатывать результаты контроля без дополнительных затрат времени преподавателя, что обеспечивает рациональное планирование учебного процесса. Результаты автоматизированного тестирования лучше поддаются анализу, чем субъективно выставляемые оценки. После завершения работы обучаемых над выполнением тестовых заданий преподавателем в группе может быть организовано обсуждение заданий, вызвавших наибольшие затруднения, а также вопросов, которые остались нерассмотренными. Таким образом, преподаватель не только может осуществлять контроль, но и становится организатором процесса самостоятельного активного приобретения обучаемыми новых знаний. Перечисленные преимущества компьютерного тестирования позволяют считать, что такая форма проверки является одним из оптимальных средств повышения уровня полноты, достоверности и многоаспектности контроля знаний.

Специфика дисциплины «Начертательная геометрия и инженерная графика» заключается в том, что студенты должны получить графические навыки. Поэтому желательно комбинировать тестовые задания так, чтобы часть из них выполнялась на бумаге.

При использовании на занятиях тестовых форм контроля не исключен элемент случайности при выборе правильного ответа. Для того, чтобы этого избежать, задания теста должны быть взаимосвязаны, вытекать друг из друга. В этом случае незнание какого-либо вопроса темы будет обнаружено в ответах на разные задания.

Для проведения текущего и рубежного контроля знаний по дисциплине «Начертательная геометрия и инженерная графика» для студентов строительных специальностей после каждой изученной темы целесообразно использовать тестовые задания, при выполнении которых необходимо выбрать один из перечисленных вариантов ответов. Например, по теме «Нанесение размеров» предложен тест, состоящий из 20 вопросов, требующих выборочного ответа. На выполнение теста отводится 15 минут. Проверочный тест предназначен для самооценки студентом полученных знаний. В конце тестирования студенту предлагается анализ пройденного им теста для выявления уровня усвоения материала.

Использование такого контроля, как тестирование, по дисциплине «Начертательная геометрия и инженерная графика» позволяет определить, насколько успешно усваивают материал каждый студент и вся группа в целом, скорректировать учебный процесс, обращая внимание на наиболее трудные темы. Кроме этого преподаватель имеет возможность индивидуализировать траекторию обучения каждого студента путем выдачи разных заданий в зависимости от полученных результатов. Разумеется, тестирование не заменяет и не отменяет традиционных форм контроля знаний, основанных на непосредственном общении преподавателя со студентом.

Применение такой системы тестового контроля позволяет объективно оценить уровень знаний и является рациональным дополнением к другим методам проверки знаний, а также обеспечивает повышение эффективности учебного процесса не только по графическим дисциплинам, но и по другим предметам, где требуются навыки создания изображения, в частности, в курсовом и дипломном проектировании.

Литература

1. Зорин, С.Ф. Разработка автóматизированной системы контроля знаний / С.Ф. Зорин. – М.: МГВМИ, 2007. – 36 с.
2. Буланова-Топоркова, М.В. Педагогика и психология высшей школы: учеб. пособие / М.В. Буланова-Топоркова. – Ростов н/Д.: Феникс, 2002. – 544 с.
3. Охотина, Л.Н. Компьютерное тестирование знаний студентов по математике / Л.Н. Охотина // Педагогическая информатика. – 2007. – № 3. – С. 46 – 51.
4. Алешин, Л.И. Компьютерное тестирование студентов библиотечного факультета МГУК / Л.И. Алешин // Библиотековедение: исследования, история и современность: сб. науч. тр. – М.: МГУК., 1995. – С. 110 – 131.

УДК 004.378

Хоботова А.О., Шокель Е.Г.
(ПГУ, г. Новополоцк)

О РОЛИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Технический, технологический и информационный «взрыв» последних десятилетий потребовал принципиальных изменений в содержании, целевых и функциональных установках, в изучении новых возможностей в сфере образовательных технологий на основе современной компьютерной техники [1].

Информатизация образования осуществляется во многих сферах, в том числе и в строительной отрасли при подготовке инженерных кадров. Экспоненциальный рост сложности используемой техники, транспортных и производственных связей ведёт к автоматизации проектирования, что, безусловно, должно отражаться и в сфере подготовки инженерных кадров.

Становится очевидной необходимость системных преобразований в обучении инженерной графике. В сложившейся ситуации одной из основных задач инженерной графики является дальнейшее развитие и усовершенствование системы профессионального образования, повышение уровня подготовки инженерных кадров. Решению данной задачи способствует свободное ориентирование выпускников в пространстве информационных технологий.

Сегодня для достижения этой цели информационные технологии применяются на всех этапах обучения и по нескольким основным направлениям:

– обучающие и расчетные программы;

– тестирующие системы;

– базы знаний по специальностям;

– электронные справочники и учебники и, конечно же, компьютерные системы для проектирования, без знания которых невозможно представить современного инженера.

Следует также отметить, что информатизация учебного процесса в сфере подготовки инженерных кадров даст наибольший эффект, если будет осуществляться комплексно, затрагивая все его виды (лекции, практические и лабораторные занятия, производственную практику, курсовое и дипломное проектирование).

Ввиду вышесказанного, педагогическая направленность курса инженерной графики должна отвечать современным требованиям подготовки инженерных кадров в вузе. Развитие компьютерной техники, возможности информационных технологий предполагают внедрение широкого спектра научных знаний в образовательный процесс подготовки инженерных кадров. И одной из важнейших составляющих профессиональной культуры инженера на современном этапе стало умение работать с разнообразными специализированными компьютерными средствами. Это в первую очередь такие программные средства, как AutoCad, ArhiCad, Компас 3D, которые обеспечивают графический аппарат инженера-строителя.

Тенденция использования данных графических программ предоставляет абсолютно новые возможности, которые позволят инженеру реализовать свои проектные замыслы, представить их наглядно и выпустить всю необходимую документацию. Данное специализированное программное обеспечение предоставляет возможность проектировать дома, здания, сооружения различной степени сложности и конфигурации. Эти программы являются мощным инструментом проектирования, который не просто позволяет, используя интеллектуальные объекты, создать трехмерный вид проекта, но меняет само представление об архитектурных системах автоматизированного проектирования. Использование данных программ повышает производительность выполнения проекта здания либо сооружения, так как значительно облегчается работа проектировщика, строителя, архитектора.

Также в инженерной подготовке применяются такие программные средства, как SCAD, Радуга-Бета, которые используют в инженерных расчетах в строительстве. Данные программные средства являются высокотехнологическими вычислительными комплексами. Они помогают комплексно решать вопросы расчета и проектирования стальных и железобетонных конструкций. Эти программные средства тесно связаны с нормативной документацией, что позволяет правильно, в соответствии с нормами, выполнить расчет конструкции и верно запроектировать ее. Качественно выполненный расчет конструкции зависит от графического задания правильной расчетной схемы и от верного подбора материала для нее. По результатам выполнения расчетов конструкций эти программы предоставляют полную информацию в отчете, по которому проектировщик или конструктор делает анализ полученных результатов. Эти программные средства намного облегчили работу проектировщика и конструктора, поскольку высокая информационная обеспеченность этих программ позволяет быстро и в соответствии с правилами подобрать материал и сечение конст-

рукции. Данные программы позволяют проектировщикам строительных конструкций быстрее и качественнее моделировать и проектировать конструкции, а это намного повышает производительность труда конструктора. Расчет с помощью программ, а также анализ результатов расчета проектировщика в комплексе дают высокий и грамотный результат, позволяющий реализовать моделируемый объект в реальность.

Без изучения перечисленных программ невозможна будущая профессиональная деятельность инженера.

Использование информационных технологий в процессе изучения инженерной графики обеспечивает реализацию интенсивных форм и методов обучения за счет возможности использования современных компьютерных средств и повышения уровня эмоционального восприятия информации. Информационные технологии являются неотъемлемой частью профессиональных компетенций современного инженера и именно поэтому столь важно для будущих инженерных кадров овладеть специализированными программными средствами уже на этапе обучения в вузе.

В заключение следует отметить, что широкое развитие информационных технологий и компьютеризация сферы образования позволяют повысить эффективность обучения, а вместе с этим и уровень профессиональной подготовки специалистов.

Роль информационных технологий велика как в процессе подготовки инженерных кадров, так и в их дальнейшей самостоятельной профессиональной деятельности. Однако информационные технологии не должны полностью заменить традиционные способы обучения инженерной графике, с помощью которых учащиеся получают первоначальные навыки выполнения чертежей и приобщаются к графическому языку инженерной графики. Информационные технологии скорее должны быть тем багажом знаний, умений и навыков, который будет применяться в профессиональной деятельности графически грамотными выпускниками.

Литература

1. Альхименок, А.А. Графический язык в системе школьного образования / А.А. Альхименок // Искусство и культура. – 2011. – № 2(2). – С. 135 – 141.

СОДЕРЖАНИЕ

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Опекунов В.В., Самуйлов Ю.Д., Хожовец Е.Б. Теплоэффективные изделия из ячеистых бетонов 3
Давыденко Н.В., Балыш А.В., Бакатович А.А., Якубавичюс А.А. Высокоэффективный утеплитель из растительных отходов сельскохозяйственного производства 8
Ягубкин А.Н., Бозылев В.В., Зеленкевич Д.С. Водопоглощение и влажность арболита, полученного по разным технологиям 14
Ехилевский С.Г., Ольшанников С.А., Потапенко Е.П. Влияние переменных краевых условий на квазистационарный профиль концентрации CO_2 в регенеративном патроне аппаратов, предназначенных для производства строительно-ремонтных работ в агрессивных средах, непригодных для дыхания человека 20
Коньков В.В. Основные направления интеллектуализации зданий 29
Иваненко А.М. Анализ недостатков нормативных документов исходя из опыта эксплуатации зданий со стенами из штучных керамических изделий 33
Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г., Кондрик А.С., Петров Р.О., Ширко С.В. Строительные композиты на основе микродисперсных наполнителей 36
Юхневский П.И., Широкий Г.Т. Научно-методологический подход к прогнозированию эффективности добавок пластификаторов 40
Вишнякова Ю.В., Сманцер В.А., Бакатович А.А. Исследование свойств штукатурных композиций с минеральным наполнителем 45
Бозылев В.В., Рядчиков Е.В. К вопросу повышения эффективности вспучивания ячеистобетонной смеси при использовании динамических воздействий 52
Лазаренко О.В. Декоративный стеклобетон 58
Бозылев В.В., Бозылев Д.В. Многослойные стеновые панели с утеплителем из полистиролбетона 63
Гущин С.В., Дрозд А.А. Прочность цементного камня в области низких водоцементных отношений 67
Зубцов В.И., Шабанов Д.Н., Синкевич С.А. Использование сегнетоэлектриков в качестве элементов альтернативной энергетики жилых и офисных помещений 71
Парфенова Л.М., Куликова Ю.В. Теоретические предпосылки к решению проблемы кавитационной стойкости гидротехнических бетонов 73
Бозылев В.В., Драгель А.А. Особенности модификации пенобетона целлюлозной фиброй 79
Шабанов Д.Н., Прокоп А.А. Использование стеклопластиковой арматуры в современном строительном производстве 84
Сафончик Д.И., Бодяк Е.В. К вопросу о выборе материалов для отделки потолков и полов жилых зданий 89
Кудёлко О.А. Совершенствование методов подготовки проектных объёмно-планировочных, конструктивных и технологических решений (ОКТР) зданий транспортных логистических центров (ТЛЦ) 94
Шведов А.П., Костечко А.И. Возможности повышения водостойкости опалубки в построечных условиях 98

Шейбак Н.А. Комплексная добавка на основе вторичных продуктов ПТК «Химволокно» 102
Шейбак Н.А. Влияние комплексной добавки на основе нитрита натрия на свойства цементных систем 106
Зеленкевич Д.С., Ягубкин А.Н. Технико-экономическая эффективность способов повышения водонепроницаемости бетона 111
Лазовская И.В. Анализ темпов развития первичного рынка недвижимости Витебской области за период 2006–2009 годов на примере городов Витебска и Полоцка 117
Пикула А.И. Тепловой баланс предприятия при производстве строительных материалов и изделий 120
Пикула А.И. Адаптируемая модель управления тепловой обработкой бетона с изменяемыми критериями функционирования 124
Васильев А.А., Адарченко Е.О. Модель карбонизации бетона в условиях открытой атмосферы 128
Бондарович А.И., Ковшар С.Н. Влияние циклических воздействий на кинетику изменения структурно-механических и упруго-деформационных характеристик бетона 134
Клюшина Л.М., Пылинский Н.И. Опыт использования современных технических и технологических решений при строительстве объектов в сельской местности 140
Рябчиков П.В., Якимович В.Д., Ковшар С.Н. Особенности технологии высокопрочного бетона с использованием наноуглеродных добавок 142
Федорович П.Л., Смоляков А.В. Эффективность применения «технологического» гранитного отсева РУПП «Гранит» 148
Мулярчик В.С., Леонович С.Н. Капитальный ремонт 5-ти этажных жилых зданий серии 1-335 и 1-464 без отселения жильцов 153
Дрозник Г.А. К вопросу проведения тепловой реабилитации жилого фонда города Новополоцка 158
Павлова И.П., Бондаренко В.М. Анализ поведения сталетрубобетонных элементов на напрягающем бетоне 164
Хрусталев Б.М., Леонович С.Н., Эберхардштайнер Й., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н. Fracture toughness of concrete, modified by multilayer nanotubes 176
Кузнецова Е.П., Молодежкина Е.И. Опыт использования современных многофункциональных покрытий при выполнении ремонтно-строительных работ на предприятии ОАО «Нафтан» города Новополоцка 186

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Пойта П.С., Клебанюк Д.Н., Шведовский П.В. Особенности формирования зоны уплотнения грунта при уплотнении грунтового основания тяжелыми трамбовками 189
Никитенко М.И., Бойко И.Л. Анализ причин аварий ограждений котлованов 196
Костюкович П.Н. Зоны инженерно-геологического риска при оценке прочности грунтов по консолидированным и неконсолидированным срезам 209
Кравцов В.Н., Лапатин П.В. Геодинамическое обследование основания фундаментов здания по ул. Черняховского в г. Витебске и оценка виброосадок, накопленных от транспортной вибрации 219

Вишняков Н.Н., Кремнев А.П. Анизотропия прочностных свойств глин озерно-ледникового происхождения 225
Сеськов В.Е., Кравцов В.Н., Якуненко С.А. Несущая способность и деформативность оснований фундаментов, вертикально армированных грунтобетонными микросваями в пробитых скважинах 229
Аль-Робай Али А.А. Строительные свойства пойменных отложений реки Дивании (рукав Евфрата, район среднего Ирака) 235
Клебанюк Д.Н., Дроневич А.Ю., Шведовский П.В., Пойта П.С. Особенности процесса распределения давлений и напряжений при уплотнении неоднородных грунтовых оснований тяжёлыми трамбовками 239
Банников С.Н. Устойчивость армированных грунтовых подушек 245
Шведовский П.В., Пойта П.С., Клебанюк Д.Н. Особенности оценки и учета изменчивости деформационно-прочностных свойств грунтовых оснований при их уплотнении 250
Пчелин В.Н., Юськович В.И., Друшиц Д.В. Повышение эффективности глубинного уплотнения грунта рабочим органом с винтовой лопастью 255
Кремнев А.П., Поляков А.Н. Георадарное зондирование при обследовании грунтовых насыпей 260
Кремнев А.П., Андрикович В.В. Устройство винтовых свай в защитной среде цементного раствора 265
Никитенко М.И. Характерные ошибки при проектировании и устройстве свайных фундаментов 270
Кравцов В.Н., Саиф Сами Хуссейн Аль-Тамими Экспериментальные исследования металлических винтовых свай в грунтовых условиях Республики Беларусь 281
Сернов В.А., Тронда Т.В. Применение геомассива при строительстве трех девятиэтажных жилых домов в г.п. Колодищи 286

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Балашова Е.С. Опыт использования информационных и коммуникационных технологий при изучении дисциплин управленческого направления 293
Василевский А.В. Реализация творческого подхода в обучении инженеров-строителей на примере преподавания специальных компьютерных дисциплин 296
Вакульчик В.С., Мателенок А.П. Визуализация информации как средство повышения качества математической подготовки инженерных кадров 300
Волик А.Р., Черкас Л.А. Информационная образовательная среда современного вуза как фактор повышения качества образования 305
Волик А.Р., Черкас Л.А. Опыт реализации накопительно-рейтинговой системы оценки знаний и компетенций студентов 310
Завистовский В.Э., Малаховская В.В., Воробьева А.А. Межпредметные связи в графических дисциплинах 315
Зверев В.Ф. К вопросу о преподавании раздела «Каменные и армокаменные конструкции» в курсе «Железобетонные и каменные конструкции» специальности 1-70 02 01 ПГС 319

Киреева Ю.И. Разработка и использование электронных средств обучения (ЭСО) по дисциплине «Строительное материаловедение» для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство» 321
Кремнева Е.Г., Шустова Н.В., Плавинская Ю.В. Подготовка научных работников высшей квалификации строительной отрасли в УО «ПГУ» 325
Лукашевич В.П. Экологическая подготовка студентов строительных специальностей УО «ПГУ» 330
Скрабатун М.А., Воробьева А.А., Малаховская В.В. Об актуальности использования систем тестового контроля знаний для подготовки инженеров 334
Хоботова А.О., Шокель Е.Г. О роли информационных технологий в процессе подготовки инженерных кадров в строительной отрасли 338

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Сборник трудов
XVIII международного научно-методического семинара
(Новополоцк, 28 – 29 ноября 2012 года)

В 2-х томах
Том II

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск *А.А. Бакатович*

Технический редактор *Р.Н. Авласенок*

Дизайн обложки *В.А. Виноградовой*

Подписано в печать 26.11.2012.
Бумага офсетная. Формат 60 × 84 1/16. Ризография.
Усл. печ. л. 19,99. Уч.-изд. л. 18,45. Тираж 70 экз. Заказ № 1786.

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

Лицензия ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.2009
Лицензия ЛП № 02330/0494256 от 27.05.2009

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29