

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Строительный факультет

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И
ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ**

**Perspective Directions of Innovative Development of Construction
Industry and Engineering Training**

**Сборник научных статей
XXI Международного научно-методического семинара**

Часть II

25-26 октября 2018 года

Брест 2018

УДК 69.05:378.2(08)

ББК 38

П 27

Рецензенты: доктор технических наук, директор филиала РУП Институт БелНИИС – научно-исследовательский центр **Деркач Валерий Николаевич**,

профессор, доктор технических наук, профессор кафедры менеджмента учреждения образования «Брестский государственный технический университет» **Павлючук Юрий Николаевич**

Редколлегия: Тур Виктор Владимирович – заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов учреждения образования «Брестский государственный технический университет», д.т.н., профессор;

Шалобыта Николай Николаевич – проректор по научной работе учреждения образования «Брестский государственный технический университет», к.т.н., доцент;

Семенюк Сергей Михайлович – декан строительного факультета учреждения образования «Брестский государственный технический университет», к.т.н., доцент;

Кисель Елена Ивановна – заведующий экономики и организации строительства учреждения образования «Брестский государственный технический университет», к.т.н., доцент;

Матвеевко Никифор Викторович – ассистент кафедры строительных конструкций, м.т.н.;

Яловая Юлия Сергеевна – старший преподаватель кафедры экономики и организации строительства, м.т.н.;

Кароза Анна Игоревна – старший преподаватель кафедры архитектуры;

Клебанюк Дмитрий Николаевич – старший преподаватель кафедры геотехники и транспортных коммуникаций, м.т.н.;

Романюк Ирина Николаевна – специалист редакционно-издательского отдела

П27 Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сборник научных статей XXI Международного научно-методического семинара; Брест 25-26 октября 2018 года / БрГТУ; редкол.: Н.Н. Шалобыта [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2018. – Ч. 2 – 400 с.

ISBN 978-985-493-436-5 (ч. II)

ISBN 978-985-493-435-8

Представлены статьи ведущих ученых Республики Беларусь, Российской Федерации, Республики Польша, Ирана и др., отражающие перспективные направления инновационного развития в области проектирования строительных конструкций; производства строительных материалов; строительного материаловедения, геотехнических аспектов. Ряд публикаций посвящен проблемам подготовки инженерных кадров в строительной отрасли, особенностям преподавания дисциплин с учетом внедрения европейских норм проектирования. Адресовано интересующимся данными проблемами.

УДК 69.05:378.2(08)

ББК 38

ISBN 978-985-493-436-5 (ч. II)

ISBN 978-985-493-435-8

Издательство БрГТУ, 2018

**Контроль качества и
современные технологии получения
строительных материалов**

ФИНИШНАЯ АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ГРАНИТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Дубновицкий С.К., Сенчуров Е.В.**

В общем случае технологическая схема обработки природного камня включает в себя следующие технологические операции: первичную приближенную, точную обработку изделий по форме, фактурную и финишную отработку [1]. Финишная обработка необходима для формирования у камня более гладкой поверхности. Обычно для этого используются следующие методы обработки (в сторону уменьшения шероховатости поверхности): шлифование, лощение, полирование. Недостатки существующих финишных методов обработки камня, в том числе и гранита, следующие:

- необходима высокая квалификация рабочего;
- высокий расход инструмента;
- большая доля ручного труда;
- высокая трудоемкость процесса обработки.

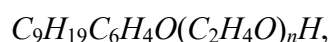
К числу перспективных методов финишной обработки относится магнитно-абразивная обработка (МАО)[2-4], при которой в роли режущего инструмента выступает рабочая технологическая среда (РТС), включающая частицы ферроабразивного порошка (ФАП), смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) и электромагнитное поле (ЭМП). Ферроабразивная щетка из ФАП и СОТС формируется в зазоре между обрабатываемой поверхностью и полюсным наконечником электромагнита силами ЭМП.

Отличительной особенностью МАО от вышеперечисленных финишных способов чистой обработки является возможность управления движением абразивных частиц в зоне обработки за счет изменения осциллирующего движения, и главным образом, за счет изменения величины магнитного потока, и как следствие, силы давления на обрабатываемую поверхность, что позволяет производить обработку без микротрещин, надрывов, шаржирования, равномерно удалять материал с обрабатываемой поверхности. Ранее уже при помощи МАО обрабатывались мрамор и яшма [5].

Цель настоящей работы – исследование технологических возможностей процесса МАО при обработке гранита.

В связи с высокой твердостью гранита одной из задач является обеспечение роста режущей способности РТС при МАО. Традиционно в качестве агентов СОТС в силу ряда причин используются растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ). Высокий уровень моющих и смазывающих свойств этих веществ обеспечивает необходимые качественные показатели, однако, их режущая способность более низкая в сравнении с эмульсолами. Это связано с тем, что присутствие в зоне резания раствора эмульсола приводит к росту как динамической, так и кинематической вязкости РТС, обеспечивает повышение коэффициента трения и уменьшает степень подвижности зерен ФАП, но, вместе с тем, снижает стойкость инструмента в отличие от использования ПАВ. Предлагаемым решением поставленной задачи является создание либо более производительной бинарной системы СОТС – ПАВ + вода, либо образование более сложной системы путем прибавления соответствующих присадок.

В производстве бинарных систем широкое применение находит такой продукт, как неонол, представляющий комплексное ПАВ в виде оксиэтилированных алкилфенолов на основе тримеров пропилена, которые являются технической смесью полиэтиленгликолевых эфиров моноалкилфенолов следующего состава:



где C_9H_{19} – алкильный радикал изононил, присоединенный к фенолу преимущественно в пара - положении к гидроксильной группе;

n – усредненное число молей окиси этилена, присоединенное к одному молю алкилфенолов.

Его достоинства заключаются в высокой поверхностной активности, мощней способности, широкой области использования, низком удельном расходе и удобной технологией использования жидкой товарной формы с низкой температурой замерзания (-25°C). Проведенные исследования данной бинарной системы показали, что использование 3-5% водного раствора не обеспечивает достаточность результатов процесса MAO гранита. Кроме того, несмотря на универсальность неолов, «узким местом» является неудовлетворительная био-разлагаемость данных продуктов, что сводится к рекомендациям по уменьшению их концентрации в промышленных средствах очистки, косметике, производстве пластмасс и т.п. Сложившаяся ситуация приводит к необходимости создания тройной системы ПАВ, которая путем структурной организации позволяет обеспечить формирование так называемой мезофазы. К данному классу организации имеет склонность термотронные мезофазы или, иначе говоря, потенциальные структурообразователи. Принцип их действия заключается в образовании упорядоченной структуры при определенном диапазоне температурного воздействия. Использование в данном виде СОТС в качестве присадки такого мезогенного соединения, как триэтаноламиновое мыло синтетических жирных кислот (СЖК) фракции C_7-C_9 позволяет создать тройную систему при наличии мезофазы. Данное соединение, кроме вышеупомянутого свойства, характеризуется полифункциональностью, а также высокой скоростью отклика на изменение условий обработки методом MAO, что доказывает эффективность его применения в СОТС СинМА-1 ТУ 38.5901176-91, в состав которого оно входит. Также обоснованием использования триэтаноламинового мыла СЖК фракции C_7-C_9 служит то, что гетероциклические органические соединения со слабыми межмолекулярными связями обладают способностью к мезоморфизму. Это в свою очередь связывается с возможностью формирования надмолекулярных органических ансамблей, т.е. адсорбции молекул, и, в конечном счете, с реальной возможностью проявления синергетизма по режущей способности данного состава СОТС. Такая способность для роста эффективности процесса MAO гранита определяется температурно-концентрационным районом существования мезофазного состояния. Данная концентрация присадки должна нивелировать скачок вязкости в зоне гелеобразования ПАВ, что благоприятно сказывается на моющей, смазывающей и, главное, режущей способности СОТС. При достижении необходимого уровня концентрации и образования требуемого показателя вязкости коэффициент трения между контактирующими телами – инструмент – обрабатываемый материал – может плавно изменяться и приобретать то значение, которое оптимально для указанных выше способностей СОТС. Зона гелеобразования в этих системах не имеет того флуктуационного перехода, что вызывает критическое поведение в связи с лавинообразным ростом вязкоупругих характеристик среды.

В качестве оборудования применялся роторный станок для MAO плоскостей АС 10.008 (рисунок 1), технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Исследования проводились на образцах гранита $L \times B \times H = 100 \times 100 \times 15$ мм при следующих параметрах и режимах MAO: величина магнитной индукции $B = 0,8-1,2$ Т; скорость резания $V_p = 1-3$ м/с; амплитуда осцилляции $A = 3$ мм; скорость осцилляции $V_o = 0,10-0,25$ м/с; величина рабочего зазора $\delta = 1-4$ мм; коэффициент заполнения рабочего зазора $K_3 = 1$; ФАП – $FeTiC$ (рисунок 2) и магнитно-абразивный порошок АСМ ГОСТ 9206-70 (рисунок 3) с размерами частиц $\Delta = 160/300$ мкм и $\Delta = 63/100$ мкм соответственно; СОТС на основе оксиэтилированных алкилфенолов, 3%-ный водный раствор; расход СОТС – 150 мл/мин; скорость подачи СОТС – $w = 0,55$ м/с; время обработки $t = 45$ мин. Черновая обработка образцов производилась путем использования ФАП $FeTiC$ в течение 30 мин, а окончательная обработка проводилась с применением магнитно-абразивного порошка АСМ в течение 15 мин.

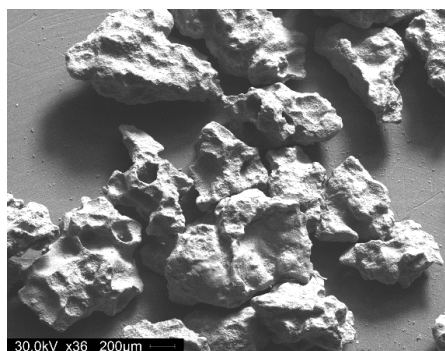


Рисунок 1 – Фотография станка для
 MAO плоскостей АС10.008

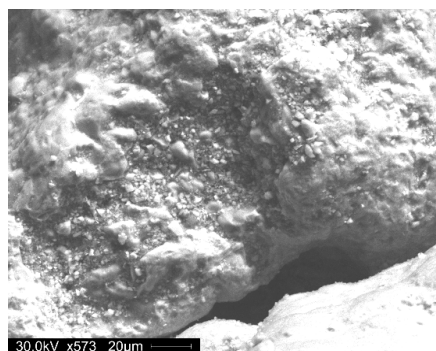
Таблица 1 – Техническая характеристика станка АС 10.008

| | |
|---|----------------------|
| Максимальная величина рабочего зазора, мм | 5 |
| Габариты обрабатываемых деталей, мм: ширина; длина | 175 175 |
| Число катушек | 7 |
| Максимальная величина тока, А | 3 |
| Максимальная магнитная индукция, Т | 1,5 |
| Максимальная частота вращения, об/мин: шпинделя ротора; ротора; рабочего стола | 280 0,5 330 |
| Мощность электродвигателя, кВт | 5 |
| Габариты устройства, мм: длина; ширина; высота (с электродвигателями) | 1340 1180 1980 |
| Масса, кг | 2100 |

В результате MAO гранитных образцов получена гладкая матовая поверхность с равномерной шероховатостью по всей обработанной площади, что сопоставимо с результатами после лощения. В отличие от необратимого износа инструмента при шлифовании и лощении, ФАП может быть повторно использован после магнитной сепарации отходов. При MAO на несколько порядков снижен расход воды (при шлифовании и лощении расход воды на единицу инструмента составляет 8-15 л/мин).



а)



б)

Рисунок 2 – Морфология поверхности порошка $FeTiC$ при различных увеличениях: а) $\times 36$; б) $\times 573$

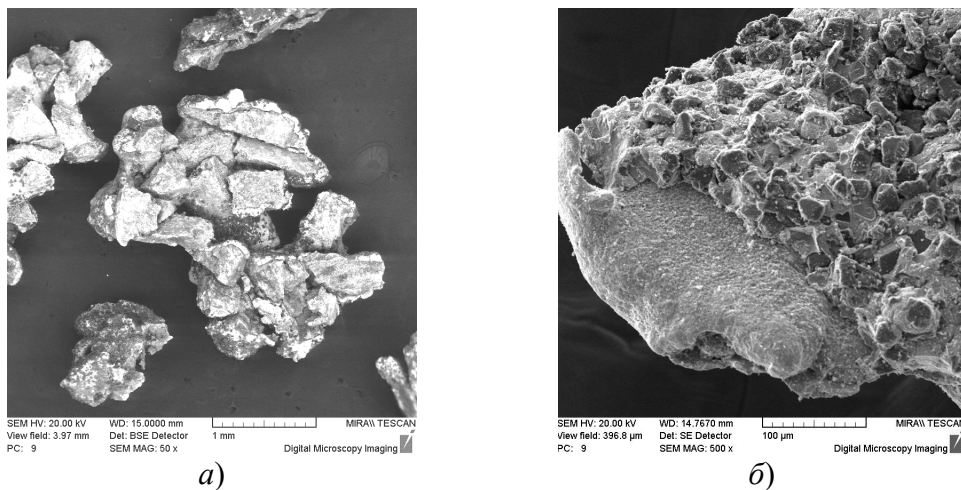


Рисунок 3 – Морфология поверхности МАПАСМ при различных увеличениях: а) $\times 50$; б) $\times 500$

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что использование метода MAO для обработки природного камня имеет определенные перспективы и может конкурировать с классическими финишными методами обработки, такими как шлифование и лощение.

Литература

1. Рочняк, Л.В. Технологические комплексы на обработке природного камня / Л.В. Рочняк // Известия Уральского государственного горного университета. – 2003. – Вып. 17. – С. 246-254.
2. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущего инструмента / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 236 с.
3. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле: монография / П.И. Ящерицын, Л.М. Кожуро, А.П. Ракомсин и др. – Минск: Физико-техн. ин-т, 1997. – 415 с.
4. Скворчевский, Н.Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын. – Минск: Навука і тэніка, 1991. – 216 с.
5. Оликер, В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий / В.Е. Оликер. – М.: Metallurgia, 1990. – 176 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В КАРБОНИЗИРОВАННОМ БЕТОНЕ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ ОТКРЫТОЙ АТМОСФЕРЫ

Васильева А. А.

Введение. Сегодня в мире производится от 3 до 4 м³ бетона и железобетона на человека в год [1]. Таким образом, железобетон является самым массовым конструкционным материалом, а железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) составляют основную долю элементов и конструкций зданий и сооружений.

Поскольку значительная часть ЖБЭ и ЖБК эксплуатируется в условиях открытой атмосферы, агрессивность по отношению к железобетону в ней определяется следующими основными эксплуатационными условиями: концентрация CO₂ – 0,03–1,20 %; относительная влажность – до 100 %; периодический переход температуры через 0 °С; периодическое увлажнение атмосферными осадками различной степени интенсивности.

В эксплуатационных условиях открытой атмосферы основным видом коррозии бетона в ЖБЭ и ЖБК, является его карбонизация. Нейтрализуя защитный слой, карбонизация создает условия для возникновения и развития коррозии стальной арматуры. В процессе ее развития происходит уменьшение поперечного сечения стальной арматуры с одновременным снижением механических характеристик, поэтому одним из важнейших вопросов оценки и прогнозирования технического состояния и долговечности ЖБЭ и ЖБК является установление зависимости скорости коррозии стальной арматуры при карбонизации защитного слоя бетона от его толщины, класса бетона по прочности и условий эксплуатации ЖБЭ и ЖБК.

Существующие методики оценки карбонизации бетона, основанные на фенолфталеиновом тесте (ФФТ), рассматривают только два состояния бетона – «здоровый», сохраняющий защитные свойства по отношению к стальной арматуре и карбонизированный, способствующий возникновению и развитию коррозии, не позволяют оценивать скорость развития коррозии стальной арматуры и ее изменение по сечению карбонизированного бетона.

Так, скорость коррозии стальной арматуры в условиях открытой атмосферы в соответствии с [2]:

$$V_{corr} = V_{corr,a} \cdot \frac{N_w}{365}, \quad (1)$$

где $V_{cor,ar}$ – средняя скорость коррозии стальной арматуры, мм/год, определяемая условиями эксплуатации; в соответствии с [1] при эксплуатации на открытом воздухе $V_{cor,ar} = 0,005$ мм/год, N_w – количество дней в году с осадками более 2,5 мм.

Предлагаемая зависимость, не учитывает такие важнейшие факторы, как класс бетона по прочности (состав бетона), толщина защитного слоя и др.

Основная часть. Для возможности определения скорости развития коррозии стальной арматуры в карбонизированном защитном слое бетона были использованы результаты многолетних исследований карбонизации бетона и ее влияния на изменение состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре и состояния стальной арматуры [2–6] для различных классов бетона по прочности.

Так, на основании предложенного показателя степени карбонизации бетона (показателя СК), выявленной зависимости коррозионного состояния стальной арматуры, определяемого величиной водородного показателя щелочности поровой жидкости в зоне расположения арматуры, от степени карбонизации бетона в зоне ее расположения (таблица 1) и полученных регрессионных зависимостей изменения во времени по сечению степени карбонизации бетонов различных классов по прочности (выражение 2 и таблица 2) был выполнен анализ времени наступления граничных значений степеней карбонизации для классов бетона по прочности C¹²/₁₅–C³⁰/₃₇ эксплуатационных условий открытой атмосферы.

Таблица 1 – Взаимосвязь состояния стальной арматуры, параметров рН и СК

| Категория потери защитных свойств бетона | Граничные значения показателя рН | Степень карбонизации, СК | Граничные значения показателя СК, % | Глубина коррозионного повреждения стальной арматуры, мм |
|--|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---|
| 0 | > 11,80 | 0 | <13 | – |
| I | 11,80–10,80 | I | 13–26 | До 0,20 |
| II | < 10,80–10,30 | II | > 26–36 | “ “ 0,50 |
| III | < 10,30–9,80 | III | > 36–47 | “ “ 0,90 |
| IV | < 9,80–9,00 | IV | > 47–74 | “ “ 1,50 |
| V | < 9,00 | V | > 74 | > 1,50 |

Усредненная регрессионная зависимость изменения степени карбонизации во времени по сечению бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$ для различных степеней агрессивности воздушных сред в общем виде:

$$СК(l,t) = \alpha_1 + (\alpha_2 + \alpha_3 \sqrt{t}) e^{\left(14,2 - \left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)} / \alpha_4 \alpha, \quad (2)$$

где α – степень гидратации цемента, %; α_1 – α_4 – коэффициенты, t – время, эксплуатации, лет.

Значения коэффициентов α_1 – α_4 для бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$ усредненных составов, эксплуатационных условий открытой атмосферы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения показателей α_1 – α_4

| Класс бетона по прочности на сжатие | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| $C^{12}/_{15}$ | 2,39 | 0,500 | 0,962 | 19,5 |
| $C^{16}/_{20}$ | 2,77 | 0,565 | 0,906 | 25,8 |
| $C^{18}/_{22,5}$ | 3,04 | 0,585 | 0,869 | 28,3 |
| $C^{20}/_{25}$ | 3,22 | 0,625 | 0,843 | 30,8 |
| $C^{22}/_{27,5}$ | 3,39 | 0,655 | 0,818 | 32,6 |
| $C^{25}/_{30}$ | 3,62 | 0,710 | 0,782 | 35,4 |
| $C^{28}/_{35}$ | 4,12 | 0,760 | 0,717 | 40,2 |
| $C^{30}/_{37}$ | 4,32 | 0,790 | 0,692 | 42,0 |

По его результатам были построены регрессионные зависимости изменения во времени коррозионного повреждения стальной арматуры для фиксированных значений толщин защитного слоя бетона 10, 15, 20 и 25 мм классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$ условий эксплуатации открытой атмосферы. бетонов

В качестве примера на рисунке 1 приведены в графическом виде регрессионные зависимости глубины коррозионного повреждения стальной арматуры от толщины защитного слоя бетонов классов по прочности $C^{16}/_{20}$, $C^{20}/_{25}$ и $C^{30}/_{37}$ для эксплуатационных условий открытой атмосферы.

Регрессионные зависимости для остальных классов бетона по прочности получены аналогично.

Результаты исследований показывают, что коррозионные повреждения стальной арматуры развиваются по сложной экспоненциальной зависимости и их скорость зависит от толщины защитного слоя бетона и класса бетона по прочности.

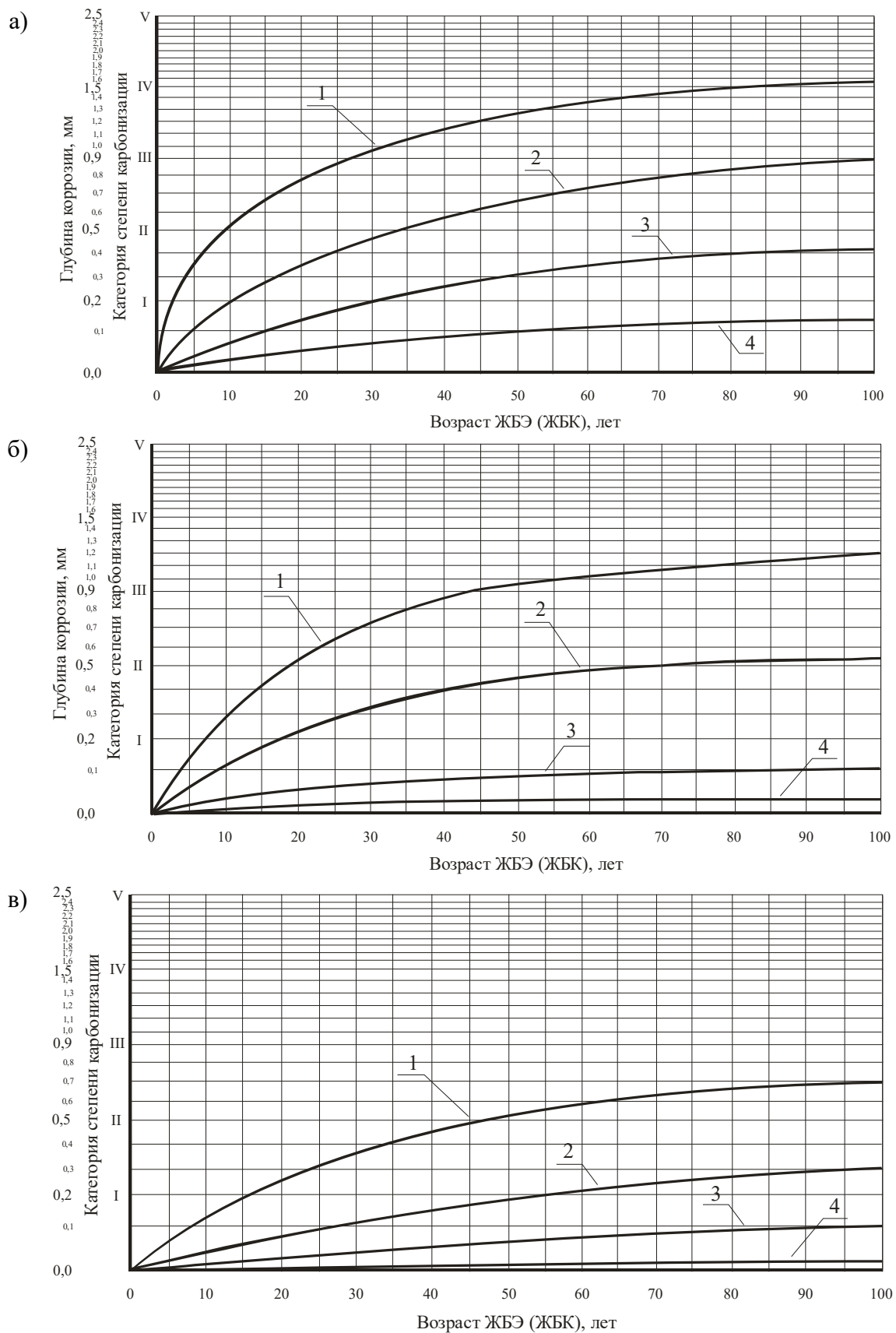


Рисунок 1 – Регрессионные зависимости глубины коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя для условий открытой атмосферы бетонов классов по прочности: а) C¹⁶/20; б) C²⁰/25; в) C³⁰/37: толщина защитного слоя бетона: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25 мм

Полученный характер зависимостей и физический смысл задачи оценки глубины повреждения стальной арматуры, позволили предложить в общем виде регрессионную зависимость скорости повреждения стальной арматуры для фиксированных значений толщины защитного слоя бетона и экспоненциального характера развития коррозии стальной арматуры:

$$h(t) = \alpha_0 \cdot (1 - e^{-\alpha_1 \cdot t}), \quad (3)$$

где h – глубина коррозии стальной арматуры, мм; t – время эксплуатации, годы; α_0 и α_1 – коэффициенты, определяющие соответственно: α_0 – максимальную скорость коррозии при $t = \infty$; α_1 – скорость развития процесса коррозии.

При получении регрессионной зависимости принимали граничное значение времени эксплуатации – 100 лет.

Коэффициенты α_0 и α_1 определялись автоматизировано методом наименьших квадратов в разделе «Nonlinearregression» компьютерного пакета статистического анализа данных «StatgraphicsCenturion».

Полученные значения коэффициентов α_0 и α_1 для бетонов классов по прочности $C^{16}/_{20}$, $C^{20}/_{25}$ и $C^{30}/_{37}$ фиксированных значений толщины защитного слоя, условий открытой атмосферы, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения показателей α_0 и α_1

| Класс бетона по прочности на сжатие | Толщина защитного слоя, мм | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 10 | | 15 | | 20 | | 25 | |
| | α_0 | α_1 | α_0 | α_1 | α_0 | α_1 | α_0 | α_1 |
| $C^{16}/_{20}$ | 1,5709 | 0,0366 | 1,0263 | 0,0212 | 0,5763 | 0,0148 | 0,1858 | 0,0174 |
| $C^{20}/_{25}$ | 1,4543 | 0,0237 | 0,9966 | 0,0118 | 0,3034 | 0,0147 | 0,0911 | 0,0264 |
| $C^{30}/_{37}$ | 0,8509 | 0,0190 | 0,6048 | 0,0073 | 0,2773 | 0,0056 | 0,2119 | 0,0059 |

Для получения зависимости развития коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона (для каждого класса бетона по прочности) необходимо установить зависимость параметров a_0 и a_1 (по 4 толщинам защитного слоя) для различных толщин защитного слоя (s).

Методами регрессионного анализа по диаграммам рассеяния $a_0(s)$ и $a_1(s)$ было установлено, что эффективным образом данные зависимости описываются аппроксимирующими уравнениями гипербол:

$$a_0(s) = b_0 + b_1/s, \quad (4)$$

$$a_1(s) = c_0 + c_1/s, \quad (5)$$

где – b_0, b_1, c_0, c_1 – коэффициенты; s – толщина защитного слоя бетона, мм.

Таким образом, для бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$ уравнение (1) для оценки величины коррозии стальной арматуры в зависимости от толщины защитного слоя бетона приобретает следующий вид:

$$h(t) = \left(b_0 + \frac{b_1}{s} \right) \cdot (1 - e^{-(c_0 + \frac{c_1}{s}) \cdot t}). \quad (6)$$

Параметры гипербол определялись автоматически в разделе «Simple regression» пакета «StatgraphicsCenturion» методом наименьших квадратов.

Полученные значения коэффициентов b_0, b_1, c_0, c_1 для бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$, условий открытой атмосферы, приведены в таблице 4.

На основании вышеприведенных исследований, выражение для оценки скорости коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне:

$$v(t) = a_0 \cdot a_1 \cdot \exp(-a_1 \cdot t). \quad (7)$$

Кроме того, приняв, нормативный срок эксплуатации железобетонных элементов 50 лет, оценив среднюю скорость коррозии стальной арматуры за данный период для граничных толщин защитного слоя бетонов различных классов по прочности, получили, в графическом выражении, зависимости средней скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя для бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$ (рисунок 3). Они показывают, что средняя скорость коррозии стальной арматуры уменьшается по сечению бетона с поверхности вглубь по сложной зависимости, причем с уменьшением толщины защитного слоя бетона (менее 20 мм) она значительно выше расчетной по [1] (приняв, по данным Гидрометцентра для г. Гомеля, $N_w = 300$, скорость коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне в условиях открытой атмосферы составит $V_{cor} = 0,0041$ мм/год).

Таблица 4 – Значения показателей b_0 , b_1 , c_0 и c_1

| Класс бетона по прочности на сжатие | Коэффициент | | | |
|-------------------------------------|-------------|---------|-----------|----------|
| | b_0 | b_1 | c_0 | c_1 |
| $C^{12}/_{15}$ | -0,754420 | 32,3350 | 0,002997 | 0,332003 |
| $C^{16}/_{20}$ | -0,622000 | 26,4950 | 0,000310 | 0,305000 |
| $C^{18}/_{22,5}$ | -0,522100 | 22,6725 | -0,001990 | 0,279000 |
| $C^{20}/_{25}$ | -0,439000 | 19,8800 | -0,003500 | 0,258000 |
| $C^{22}/_{27,5}$ | -0,391000 | 17,0900 | -0,004800 | 0,241000 |
| $C^{25}/_{30}$ | -0,319000 | 14,9950 | -0,005200 | 0,232000 |
| $C^{28}/_{35}$ | -0,278000 | 13,0010 | -0,005350 | 0,229900 |
| $C^{30}/_{37}$ | -0,251132 | 11,3354 | -0,005288 | 0,229624 |

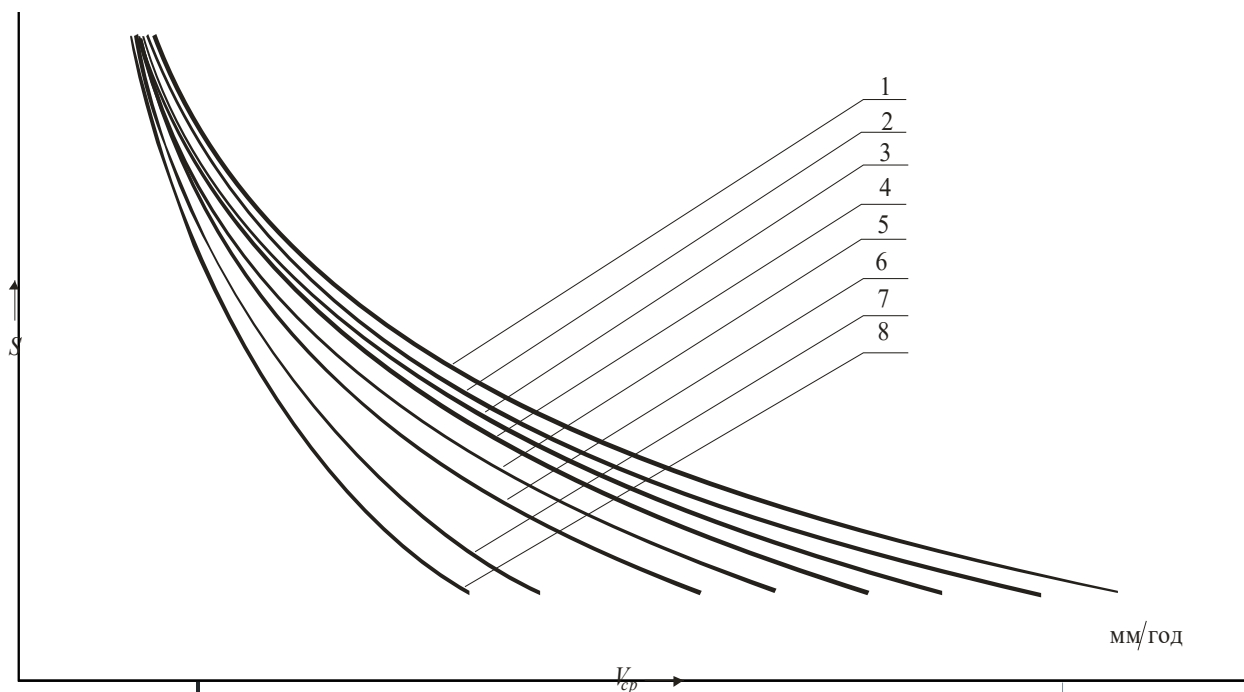


Рисунок 2 – Зависимости средней скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона для условий открытой атмосферы
 Классы бетона по прочности: 1 – $C^{12}/_{15}$; 2 – $C^{16}/_{20}$; 3 – $C^{18}/_{22,5}$; 4 – $C^{20}/_{25}$; 5 – $C^{22}/_{27,5}$; 6 – $C^{25}/_{30}$;
 7 – $C^{28}/_{35}$; 8 – $C^{30}/_{37}$

Выводы. Выполненные исследования позволили получить регрессионные зависимости глубины коррозии и скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$ для эксплуатационных условий открытой атмосферы. Они позволяют учитывать скорость коррозии стальной арматуры в прогнозных моделях оценки технического состояния и долговечности ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в условиях открытой атмосферы.

Список источников

1. Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ.–М.: Готика, 2001.– 684 с.

2. DuraCrete 7: General guidelines for durability design and redesign. The European Union – Brite EuRam III, Project No. BE95-1347, Probabilistic Performance-based Durability Design of Concrete Structures, Report No. T7-01-1, 1999.

3. Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.

4. Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 304 с.

5. Васильев, А.А. Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 263 с.

6. Васильев, А. А. Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Вып. 9. – Минск, 2017. – С. 148–167.

7. Васильев, А. А., Оценка и прогнозирование степени карбонизации бетона / А.А. Васильев // Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования: монография / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение – 2018. – С. 148–158.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ И БЕТОНЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМ МИКРОКРЕМНЕЗЕМОМ

Гуриненко Н. С., Батяновский Э. И.

Введение. В технологии высокопрочного, особо плотного бетона используют дополнительные компоненты, один из которых – микрокремнезем, представляющий собой SiO_2 в активной (аморфной) форме, вводимый в количестве (10 ... 30)% от массы цемента [1 - 3].

Традиционный микрокремнезем поставляется и используется в неуплотненном состоянии (МК) с насыпной плотностью 150 ... 200 кг/м^3 , в уплотненном состоянии (МКУ) с насыпной плотностью порядка 500 ... 600 кг/м^3 и в виде пасты - водной суспензии концентрацией (50 ... 60)% [4 - 7]. Введение микрокремнезема требует дополнительного оборудования БСУ, и кроме этого суспензии подвержены осаждению и расслоению при хранении, замерзанию при отрицательных температурах. Те же проблемы сопутствуют использованию композиционного материала - «Модификатор бетона марки МБ-01» и его разновидностей, компонентом которых является микрокремнезем. Данный продукт представляет собой порошок насыпной плотностью 750 ... 800 кг/м^3 , состоящий из гранул размером до 100 мкм [8], вводимый в бетон в количестве (8 ... 15) % от массы цемента.

Решая задачу ускорения твердения и повышения плотности и прочности бетона нами предложена комплексная добавка ускоряюще-уплотняющего действия [9]. Однако для высокопрочного бетона ее эффективности не достаточно. В развитие исследований с высокопрочным бетоном установлена возможность обеспечения его прочности на сжатие на уровне $f_{cm,28} \geq 100$ МПа при замене традиционного микрокремнезема (МК; дозировка 10% от МЦ) на ультрадисперсный микрокремнезем (УДМК) в дозировке 1,0 % от МЦ при равной прочности [10, 11]. На этом основании разработан состав полифункциональной добавки, включающей гиперпластификатор, УДМК, ускоряющий и уплотняющий структуру бетона компоненты, с целью ее использования в конструкционном бетоне традиционных классов и высокопрочном. В этой связи появилась необходимость исследовать закономерности влияния такой добавки на процессы гидратации, твердения и свойства цементного камня и конструкционного бетона.

Характеристики материалов для исследований. В качестве *вяжущего вещества* – портландцемент марки ПЦ 500 по ГОСТ 10178, соответствующий классу СЕМ I 42,5 N по СТБ EN 197-1 ($K_{нт} = 0,25$, со сроками схватывания: начало – 2 ч 10 мин, конец – 3 ч 50 мин). *Крупный заполнитель* для бетона – щебень гранитный (Микашевичи) кубовидный фракций: 2 ... 4; 4 ... 6 мм, прочностью (по дробимости) ≥ 110 МПа, насыпной плотностью: $c_0 \sim 1380$ кг/м^3 и 2410 кг/м^3 ; плотностью зерен: $c_3 \sim 2700$ кг/м^3 . *Мелкий заполнитель* – природный (мытый) песок; с модулем крупности: $M_k \sim 2,6 \dots 2,8$ доли ед.; насыпной плотностью: $c_0 = 1550$ кг/м^3 , плотностью зерен $c_3 \sim 2650$ кг/м^3 ; соответствующий требованиям ГОСТ 8736–93. *Вода* для затворения и последующего твердения бетона соответствующий требованиям СТБ 1114–98 и ГОСТ 23732–2011.

Ускоритель твердения – сульфат натрия (Na_2SO_4 ; СН) кристаллизационный, по ГОСТ 21458-75 и *уплотняющая структура* добавка – сульфат алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; СА) по ГОСТ 12966–85.

В качестве *пластификатора* использовали «Стахемент 2000» (в тексте обозначено Ст) - пластифицирующую добавку I группы согласно СТБ 1112-98 (суперпластификатор с повышенным водоредуцирующим эффектом) в виде водного раствора 35%-ой концентрации.

Микрокремнезем – в соответствии с требованиями СТБ EN 197-1 с содержанием аморфного диоксида кремния не менее 85 % по массе; потери при прокаливании не более 4,0 %; удельная поверхность (по методу БЭТ) $\sim 15,0$ $\text{м}^2/\text{г}$ (при использовании приборов типа «ПСХ» $S_{уд}^{МК} \sim 3,0$ $\text{м}^2/\text{г}$ или 30 000 $\text{см}^2/\text{г}$); гранулометрический состав, определенный с помощью электронного анализатора «ANALYSETTE 22 NanoTec», представлен на рисунке 1.

| Interpolation Values... C:\Program Files\la22 32\fritsch\HIMNT 1.FPS | | | | | | |
|--|------------|--------|---------|-----------|------------|--------|
| 0.050- | 1.000µm= | 0.39% | 1.000- | 2.000µm= | 0.28% | |
| 3.000- | 4.000µm= | 0.03% | 4.000- | 5.000µm= | 0.30% | |
| 10.000- | 20.000µm= | 0.11% | 20.000- | 50.000µm= | 5.86% | |
| 100.000- | 200.000µm= | 16.83% | | | | |
| | | | | 2.000- | 3.000µm= | 0.09% |
| | | | | 5.000- | 10.000µm= | 2.68% |
| | | | | 50.000- | 100.000µm= | 31.47% |

| Interpolation Values... C:\Program Files\la22 32\fritsch\10_90.FPV | | | | | |
|--|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 10.0 % <= | 51.138 µm | 20.0 % <= | 69.995 µm | 30.0 % <= | 83.355 µm |
| 40.0 % <= | 98.113 µm | 50.0 % <= | 119.314 µm | 65.0 % <= | 246.879 µm |
| 70.0 % <= | 267.991 µm | 80.0 % <= | 305.494 µm | 90.0 % <= | 353.545 µm |
| 10.2 % <= | 51.721 µm | 20.4 % <= | 70.613 µm | | |

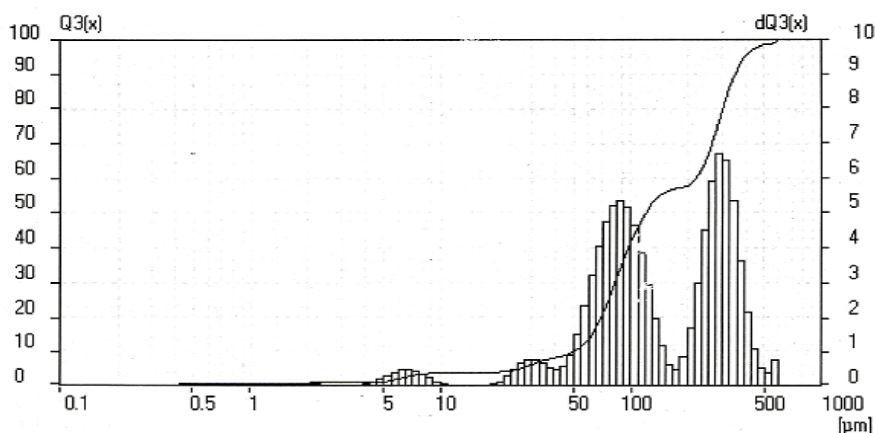


Рисунок 1 – Гранулометрический состав порошка микрокремнезема (МК)

Ультрадисперсный микрокремнезем, соответствующий ТУ 2168-002-14344269-09 «Ковелос» (диоксид кремния осажденный) с характеристикой гранулометрического состава, приведенного на рисунке 2.

| Interpolation Values... C:\Program Files\la22 32\fritsch\HIMNT 1.FPS | | | | | | |
|--|------------|--------|---------|-----------|------------|--------|
| 0.050- | 1.000µm= | 0.92% | 1.000- | 2.000µm= | 3.73% | |
| 3.000- | 4.000µm= | 12.20% | 4.000- | 5.000µm= | 12.58% | |
| 10.000- | 20.000µm= | 13.79% | 20.000- | 50.000µm= | 0.00% | |
| 100.000- | 200.000µm= | 0.00% | | | | |
| | | | | 2.000- | 3.000µm= | 9.63% |
| | | | | 5.000- | 10.000µm= | 47.18% |
| | | | | 50.000- | 100.000µm= | 0.00% |

| Interpolation Values... C:\Program Files\la22 32\fritsch\10_90.FPV | | | | | |
|--|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 10.0 % <= | 2.602 µm | 20.0 % <= | 3.476 µm | 30.0 % <= | 4.287 µm |
| 40.0 % <= | 5.075 µm | 50.0 % <= | 5.922 µm | 65.0 % <= | 7.348 µm |
| 70.0 % <= | 7.883 µm | 80.0 % <= | 9.087 µm | 90.0 % <= | 10.715 µm |
| 10.2 % <= | 2.621 µm | 20.4 % <= | 3.512 µm | | |

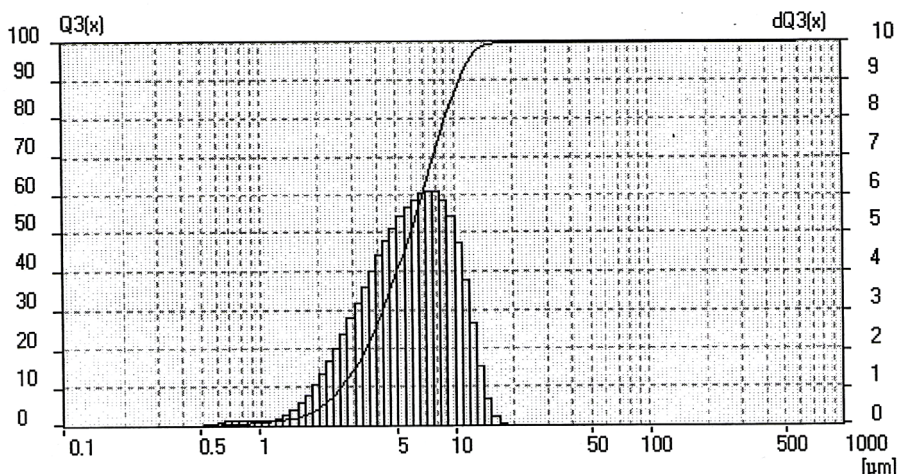


Рисунок 2 – гранулометрический состав УДМК

Оценка изменений щелочности. Одним из проблемных вопросов применения микрокремнезема в железобетоне является его допустимая дозировка с позиции долговременной защиты стальной арматуры. С учетом связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в нерастворимые соединения и понижение рН-фактора менее критической величины: $\text{pH} \geq 11,8$ ед. безопасной считается дозировка МК в количестве 10 ... 11 % от массы цемента.

Для оценки этой ситуации при использовании УДМК провели соответствующие исследования (таблица 1). Пробы цементного камня готовили в соответствии с СТБ 1168-99 п. 6.15.2. В мерные колбы вместимостью 50 мл засыпали 1 г пробы, заливали дистиллированной водой (20 мл) и закрывали резиновыми пробками. Перед каждым измерением рН полученный раствор перемешивали; измерения произвели с помощью портативного рН-метра «Н183141».

Таблица 1 – pH водных вытяжек образцов цементного камня

| Время | "Без добавок" | 0,5%Ст | 0,5%Ст+10%МК | 0,5%Ст+1%УДМК | 0,5%Ст+1,5%УДМК | 0,5%Ст+1%УДМК+0,5%СН+0,25%СА |
|---------|---------------|--------|--------------|---------------|-----------------|------------------------------|
| 1 мин | 12,4 | 12,3 | 12,3 | 12,3 | 12,3 | 12,3 |
| 2 мин | 12,4 | 12,4 | 12,3 | 12,3 | 12,3 | 12,3 |
| 10 мин | 12,55 | 12,55 | 12,44 | 12,41 | 12,40 | 12,41 |
| 30 мин | 12,55 | 12,55 | 12,44 | 12,41 | 12,40 | 12,41 |
| 60 мин | 12,55 | 12,55 | 12,44 | 12,41 | 12,40 | 12,41 |
| 2 сут. | 12,73 | 12,73 | 12,71 | 12,65 | 12,65 | 12,50 |
| 10 сут. | 12,73 | 12,73 | 12,71 | 12,65 | 12,65 | 12,50 |
| 20 сут. | 12,70 | 12,71 | 12,69 | 12,65 | 12,63 | 12,55 |
| 30 сут. | 12,70 | 12,70 | 12,67 | 12,63 | 12,61 | 12,50 |
| 60 сут. | 12,70 | 12,70 | 12,67 | 12,63 | 12,61 | 12,50 |

Из экспериментальных данных следует, что исследуемое вещество ультрадисперсный микрокремнезем (УДМК) в целом не критически снижает pH-фактор и, соответственно, при использовании УДМК в железобетоне (как индивидуально, так и в составе комплексной добавки) не потребуются дополнительной защиты арматуры.

Кинетика тепловыделения цемента. Тепловыделение (экзотермия) цемента – фактор, влияющий на кинетику твердения цементного бетона и играющий существенную роль в реализации энергосберегающих технологий в производстве сборного железобетона и в монолитном строительстве. Для сравнительной оценки влияния МК и УДМК, а также разрабатываемой полифункциональной добавки на тепловыделение цемента при твердении цементного теста использовали методику, описанную в источниках [13, 14]. Готовили цементное тесто нормальной густоты, которое укладывали (400 г) в пластмассовые стаканчики (диаметром 70 мм и высотой 80 мм) и уплотняли постукиванием. На поверхность теста устанавливали запрограммированные датчики температуры «DS 1921», стаканчики закрывали крышками и помещали в гнезда термокассеты, выполненной из экструдированного пенопласта. Изменение температуры фиксировали в течение полутора суток (рисунок 3).

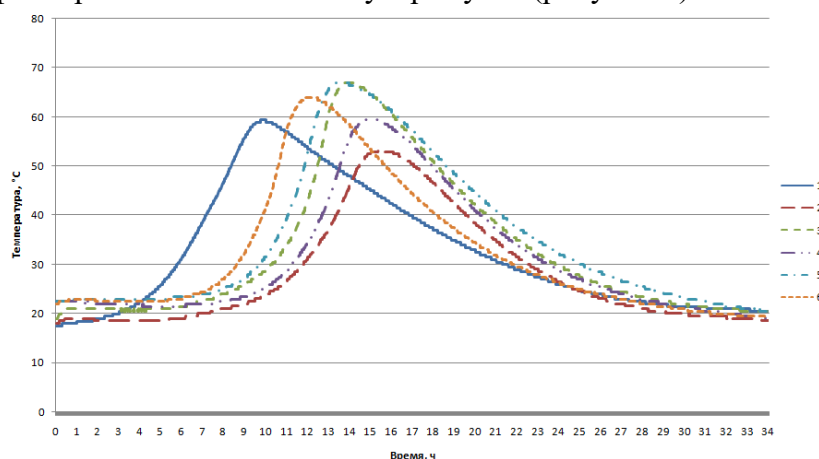


Рисунок 3 – Кинетика изменения температуры цементного теста, где 1-"Без добавок", 2-0,5%Ст, 3-0,5%Ст+ 10%МК, 4-0,5%Ст+1%УДМК, 5-0,5%Ст+1,5%УДМК, 6-0,5%Ст+1%УДМК+ 0,5%СН+ 0,25%СА

Из результатов экспериментов, следует, что введение комплексных добавок, которые содержат пластификатор (особенно - только пластификатор, график № 2) сдерживает гидратационный процесс, а с ним и тепловыделение цемента. Это отражается в «запаздывании» эффекта тепловыделения в сравнении с графиком № 1 (цемент без добавок). При этом с течением

нием времени проявляется эффект ускорения гидратации цемента под влиянием микрокремнезема (МК) и УДМК (№ 3 и № 5), а также под влиянием комплексной полифункциональной добавки, содержащей УДМК и вещества сульфата натрия и сульфата алюминия (№ 6).

Степень гидратации вяжущего. Степень гидратации вяжущего в бетоне (при прочих равных условиях) составляет основу его плотности и прочности, а на этом основании – всей совокупности его качественных характеристик. Было важно оценить в сопоставлении влияние на степень гидратации цемента добавок микрокремнезема УДМК, а также разрабатываемой полифункциональной добавки.

Степень гидратации вяжущего определили по количеству химически связанной воды (ХСВ) из зависимости: $\alpha = w_{xc} / w_0 \cdot 100, \%$, где w_0 – количество воды, которое связывается при полной гидратации вяжущего и которое принято равным 22,7 % или приблизительно 23 % от массы вяжущего [15]. В таблице 2 приведены результаты испытаний проб образцов (в возрасте 28 суток) цементного камня «без добавок» и содержащего исследуемые добавки.

Результаты экспериментов однозначно показывают, что к 28 суткам твердения цементного камня добавки повышают степень гидратации цемента. Для монодобавки пластификатора этот эффект не значителен, и связан с ее способностью (за счет активности молекул ПАВ) усиливать пептизацию (деагрегацию, распадение) флокул цемента, т.е. за счет увеличения площади контакта и последующей реакции вяжущего с водой.

Таблица 2 – Результаты определения степени гидратации цемента

| Номер и состав пробы | m_{105} | $m_{прок}$ (4 часа - 700°С) | w_{xc} | w_0 | $\beta, \%$ |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------|----------|-------|-------------|
| 1. Без добавки | 7,71 | 6,9 | 0,1174 | 0,227 | 51,71 |
| 2. 0,5%СТ | 6,22 | 5,55 | 0,1207 | | 53,18 |
| 3. 0,5%СТ +10%МК | 6,22 | 5,43 | 0,1455 | | 64,09 |
| 4. 0,5%СТ +1%УДМК | 8,22 | 7,15 | 0,1490 | | 65,62 |
| 5. 0,5%СТ +1,5%УДМК | 8,72 | 7,53 | 0,1580 | | 69,62 |
| 6. 0,5%СТ +1%УДМК+ +0,5%СН+0,25%СА | 8,75 | 7,53 | 0,1620 | | 71,37 |

Более существенен рост ХСВ для состава с добавкой аморфного SiO_2 , т.к. связывание им $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ускоряет ход реакций гидратации C_3S и C_2S с понижением щелочности реагирующей системы «цемент–вода».

Наиболее значим (с 51,71 % до 71,37 %) рост степени гидратации цемента с комплексной полифункциональной добавкой. В этом случае эффективность аморфного SiO_2 дополняется действием добавок–электролитов (Na_2SO_4 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), которые проявляют комплексное действие [16], включающее повышение растворимости клинкерных минералов, пептизацию цементных флокул и образование дополнительных соединений с участием вещества этих добавок. Этот совокупный эффект подтвержден установленным экспериментально ростом прочности на сжатие образцов цементного камня с полифункциональной добавкой на (25 ... 30)%.

Результаты детермического анализа. Рост прочности цементного камня, увеличение количества ХСВ цементом отражают глубинные изменения в его структуре под влиянием вещества вводимых добавок.

Возможные фазово-структурные изменения затвердевшего цементного камня исследовали в сравнительном варианте: испытывали пробы на «чистом» цементе, сопоставляя с данными проб, содержащих добавки (по таблице 2).

Исследования термического воздействия на пробы материала осуществили с помощью прибора – термогравиметрического анализатора TGA/DSC1-1/1600 HF (METTLER TOLEDO). Результаты приведены на рисунках 4 и 5 (соответственно: для «чистого» цемента и с полифункциональной добавкой).

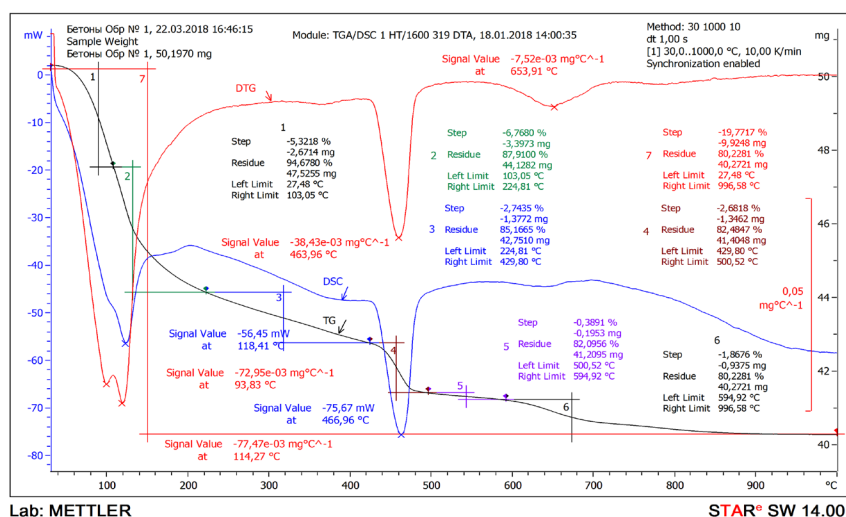


Рисунок 4 – Дериватограмма пробы «чистого» цементного камня, не содержащего добавок

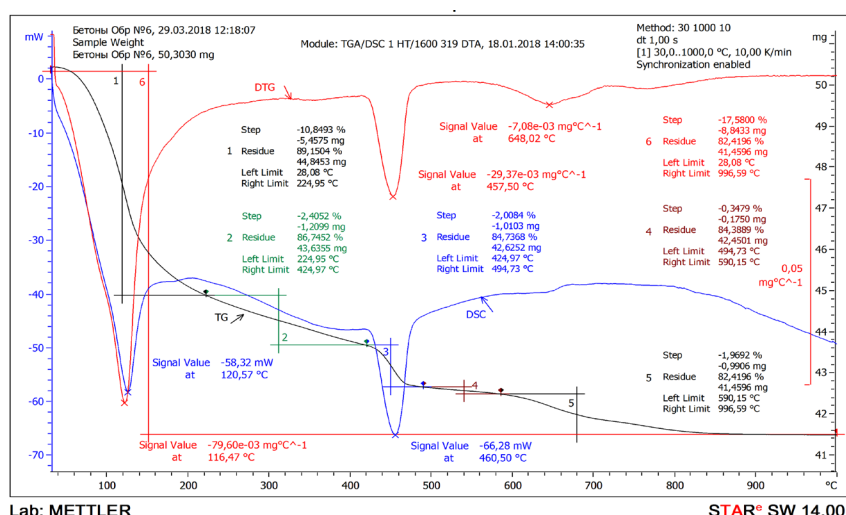


Рисунок 5 – Дериватограмма пробы цементного камня, содержащего 0,5%SiO₂+1%УДМК+0,25%СН от массы цемента

Из анализа полученных данных следует, что введение аморфного кремнезема SiO₂ существенно снижает количество разлагающегося под действием температуры Ca(OH)₂ и способствует росту количества кристаллогидратных новообразований силикатной группы. Эти данные согласуются с результатами определения количества химически связанной воды цементом аналогичных проб и теоретическими воззрениями на роль аморфного кремнезема в процессах взаимодействия клинкерного цемента с водой.

Анализ графиков «DSC» (скорость снижения массы) и «DTG» (здесь - отражение изменений энтальпии), приведенных на рисунках 4 («чистый» цементный камень) и 5 (цементный камень с полифункциональной добавкой), показывает следующее.

Во-первых, разница в зоне температуры ~ 110°C, отражающей потери «свободной» (находящейся в поровом пространстве проб цементного камня) воды. Снижение показателя проб «чистого» камня составляет ~ 70 mW, а проб с добавкой ~ 60 mW, т.е. существенно меньше. Это свидетельствует об уменьшении объема пор в пробах цементного камня с добавкой, т.е. о росте плотности его микроstructures.

Во-вторых, изменения эндотермического «пика» в зоне температур ~ (420...480) °C, отражающего разложение гидроксида кальция (Ca(OH)₂). Его площадь на дериватограмме проб с добавкой значительно меньше, чем для проб «чистого» цементного камня. Это свидетельствует о развитии реакции Ca(OH)₂ с аморфным SiO₂ с уменьшением количества гидроксида кальция.

В-третьих, увеличивается площадь эндотермического «пика» в зоне температур ~ (550...750) °С, отражающего разложение кристаллогидратных новообразований клинкерных минералов цемента. При этом в пробах с добавкой снижается уровень минимальной температуры их разложения: с 653,91 °С (проба без добавок) до 648,02 °С для пробы с добавкой. Эти данные свидетельствуют об образовании под влиянием вещества добавки низкоосновных кристаллогидратов силикатов кальция, которые имеют меньшие размеры и способствуют формированию более плотной и прочной структуры цементного камня.

В целом результаты дериватографического анализа согласуются с данными о большем количестве ХСВ цементом и о росте прочности цементного камня под влиянием веществ, составляющих разрабатываемую полифункциональную добавку.

Особенности приготовления добавки и введения ее в бетон. Относительно приготовления добавки наиболее рационален вариант механического смешивания входящих в ее состав компонентов в сухом порошкообразном виде.

Возможен (экспериментально проверен) вариант двухкомпонентной добавки, включающей приготовление сухой смеси УДМК, сульфата натрия и сульфата алюминия при отдельном введении в бетон на стадии приготовления расчетного количества раствора пластификатора.

Отработан экспериментально вариант приготовления раствора–дисперсии (т.к. вещество УДМК не растворимо в воде, в отличие от остальных компонентов) перед введением добавки в бетон. С этой целью выполнены исследования по оценке седиментационной устойчивости дисперсии УДМК в воде при простом механическом смешивании и с обработкой ее при помощи ультразвука (т.е. эффекта кавитации)

Для установления эффективности обработки на гомогенизаторе «HielscherUP200Ht», обрабатывая пробы в течение 5 минут до температуры разогрева (60 ... 65)°С (максимальный эффект кавитации) были приготовлены водные дисперсии УДМК и УДМК с пластификатором.

Затем часть дисперсий поместили в стеклянные емкости для наблюдения за седиментационной устойчивостью; вторую часть использовали при изготовлении образцов цементного камня для оценки его прочности (таблица 4).

Выявлено, что седиментационная устойчивость водной дисперсии УДМК существенно повышается при обработке ее ультразвуком на стадии приготовления. Реализуемое в этом случае кавитационное воздействие на готовящуюся дисперсию способствует дополнительной дезагрегации конгломератов из частиц УДМК, что повышает ее устойчивость. Однако дисперсия, приготовленная только на воде сохраняет однородность и устойчивость не более суток, через сутки происходит ее загустевание и «стеклование». В случае обработки ультразвуком дисперсии с введением пластификатора эффекта «стеклования» не наблюдается и, по нашим данным, дисперсия сохраняет однородность не менее 60 суток.

Оценка седиментационной устойчивости водной дисперсии УДМК, приготовленной механическим смешиванием, показала, что она без признаков расслоения хранится до 45 минут, а в случае приготовления раствора–дисперсии полифункциональной добавки – до 60 минут, чем обеспечивает возможность ее гарантированного введения в бетон в расчетном количестве с водой затворения.

Таблица 4 – Прочность на сжатие образцов цементного камня в зависимости от обработки дисперсии УДМК ультразвуком

| Номер состава, вид добавки и количество в % от МЦ | В/Ц | <i>f_{сж.цк}</i> , МПа | <i>f_{сж.цк}</i> , МПа | <i>f_{сж.цк}</i> , МПа | <i>f_{сж.цк}</i> , МПа | <i>f_{сж.цк}</i> , МПа |
|---|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | 1 сутки | 3 сутки | 7 сутки | 14 сутки | 28 сутки |
| 1. 1%УДМК | 0,26 | 32,7 | 39,2 | 41,7 | 72,7 | 81,0 |
| 2. 1%УДМК (ультразвук) | 0,255 | 32,6 | 39,6 | 41,9 | 73,7 | 82,5 |
| 3. 0,5%СТ +1%УДМК | 0,20 | 30,2 | 44,4 | 64,8 | 82,6 | 93,2 |
| 4. 0,5%СТ +1%УДМК (ультразвук) | 0,20 | 30,8 | 44,9 | 67,4 | 84,2 | 94,7 |

Из данных таблицы 4 (серии из 6 образцов (20*20*20 мм), нормально-влажностные условия твердения) следует, что эффективность в цементном камне (экспериментально выявлено, что и в бетоне) введенного в его состав УДМК практически не зависит от наличия кавитационной обработки ультразвуком. Это свидетельствует о том, что вещество УДМК вполне качественно распределяется в объеме воды при простом механическом смешивании и этот прием приготовления раствора–дисперсии разрабатываемой добавки достаточен для использования при приготовлении бетона с ней.

Кинетика твердения и прочность высокопрочного бетона с добавками. Основной задачей, которая была решена в экспериментальных исследованиях с высокопрочным бетоном, явилась оценка эффективности замены микрокремнезема в его составе на ультрадисперсный микрокремнезем, при дозировке последнего в 10 раз меньше, но без снижения прочности бетона. Реализация такого решения позволяет существенно упростить технологию приготовления высокопрочного бетона, благодаря приему введения УДМК в виде седиментационно устойчивой дисперсии с водой затворения, либо в виде водного «раствора–суспензии» комплексной полифункциональной добавки.

Для исследований, результаты которых приведены в таблице 5, использовали составы, обоснованные в источниках [2, 3], как обеспечивающий прочность бетона на сжатие в проектном возрасте: $f_{cm,28} \sim 100...110$ МПа, при использовании «традиционного» микрокремнезема (МК–85 или УМК–85) в дозировке 10% от МЦ и пластификатора I-ой группы – «гиперпластификатора» Ст2000 (в виде раствора 35% концентрации).

Образцы во всех случаях распалубливали через 21...22 часа от момента изготовления; одни серии (по 3 образца) испытывали в возрасте 24 ч и через указанные в таблице 5 периоды (1, 3, 7, 14, 28 и 90 суток) твердения в нормально - влажностных условиях; другие подвергали тепловой обработке, включавшей медленный нагрев бетона в формах до температуры $\sim (30...35)$ °С (при температуре среды в пропарочном бачке (40...45) °С) за 2...2,5 ч и последующее термостатирование – выдерживание без подвода тепла в тепловом агрегате 21...22 ч от момента изготовления до распалубки, при первом испытании через 24 ч и последующим «дозревании» образцов до испытаний в нормально - влажностных условиях.

Таблица 5 –Прочность на сжатие образцов высокопрочного бетона в зависимости от состава и условий

| Вид добавки и количество в % от МЦ | (В/Ц) _б ; марка по подвижности | Условия изготовления | Прочность на сжатие, МПа, в возрасте | | | | |
|------------------------------------|---|--|--------------------------------------|--------|--------|---------|---------|
| | | | 1 сут. | 3 сут. | 7 сут. | 28 сут. | 90 сут. |
| 10%МК+0,5%Ст | 0,223; П1 | НВУ | 49,5 | 76,2 | 82,2 | 105,2 | 107,6 |
| 1%УДМК+0,5%Ст | 0,263; П1 | | 47,7 | 76,1 | 82,1 | 101,7 | 105,0 |
| 10%МК+0,5%Ст | 0,258; П2 | | 41,7 | 77,2 | 87,2 | 107,0 | 108,7 |
| 1%УДМК+0,5%Ст | 0,282; П2 | | 44,4 | 81,7 | 93,4 | 107,9 | 109,7 |
| 10%МК+0,5%Ст | 0,258; П2 | нагрев среды до $t = 45^{\circ}\text{C}$ | 49,2 | 77,8 | 83,1 | 100,0 | 102,4 |
| 1%УДМК+0,5%Ст | 0,282; П2 | | 50,3 | 79,2 | 84,7 | 101,9 | 103,4 |

Результаты экспериментов подтверждают возможность замены традиционного микрокремнезема, в дозировке 10% от массы цемента, на ультрадисперсный микрокремнезем, в дозировке 1% от МЦ, без снижения темпа твердения и уровня прочности высокопрочного бетона при твердении в нормально–влажностных условиях и с низкотемпературным нагревом во все сроки в пе-

риод до 90 суток. С учетом того обстоятельства, что УДМК может быть введен в бетонную смесь на стадии ее приготовления в виде дисперсионной комплексной полифункциональной добавки, такая замена обеспечивает существенное упрощение технологии приготовления бетона, по сравнению с существующей технологией с использованием традиционного микрокремнезема. Так же выявлена возможность использования УДМК в составе комплексной полифункциональной добавки в литых бетонных смесях (марки П5), с обеспечением высокого темпа роста прочности в начальные сроки твердения и ее уровня к проектному возрасту. Исследования в этом направлении продолжаются и будут представлены в дальнейшем.

Обобщение результатов экспериментальных исследований, приведенных в настоящей статье, позволяют сделать следующие выводы.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о достаточно высокой эффективности и перспективности предлагаемой полифункциональной добавки в бетон, содержащей в составе ультрадисперсный микрокремнезем.

Снижение рН-фактора с введением УДМК в цементный бетон на 0,1 ... 0,2 единицы (с 12,70 до 12,50 за 20 ... 60 суток твердения) не является критическим с позиций защиты им стальной арматуры от коррозии. Особенно с учетом того обстоятельства, что под влиянием предлагаемой добавки возрастает прочность, плотность и непроницаемость бетона.

Возрастающее в присутствии аморфного SiO_2 тепловыделение гидратирующегося цемента и степень гидратации вяжущего согласуется с выводом о росте плотности и непроницаемости цементного бетона с проверенными добавками и, в особенной мере, с полифункциональной, комплексной, содержащей УДМК в сочетании с ускоряющей (Na_2SO_4) твердение и уплотняющей структуру ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) цементного камня и бетона.

Данные дериватографического анализа подтверждают снижение под влиянием аморфного SiO_2 в продуктах гидратации цемента количества $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при росте содержания кристаллогидратных новообразований от клинкерных минералов цемента.

Седиментационная устойчивость водной дисперсии УДМК в пределах 45 ... 60 минут при механическом смешивании и более 24 ч при обработке ультразвуком обеспечивает необходимые условия для введения с водой затворения добавки, содержащей УДМК, в приготавливаемый бетон.

Подтверждена возможность замены в высокопрочном бетоне «традиционного» микрокремнезема на ультрадисперсный микрокремнезем с десятикратным уменьшением дозировки (~ 1% от МЦ), при обеспечении равной прочности бетона, твердеющего в нормальных температурных условиях и с кратковременным разогревом до (30...40) °С.

Показана возможность использования УДМК в составе комплексной полифункциональной добавки, с целью использования в литых бетонных смесях, включая высокопрочный бетон.

Список источников

1. Ma, J. Ultra High Performance Self Compacting Concrete/ j.Ma, j.Dietz // LACER № 7. 2002.
2. Батяновский, Э.И. Особенности технологии бетона прочностью 100-150 МПа с углеродными наноматериалами / Э.И. Батяновский, В.Д. Якимович, П.В. Рябчиков // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2. – С. 59–67
3. Батяновский, Э.И. Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая нанокремнеземные добавки / Э.И. Батяновский, В.Д. Якимович, П.В. Рябчиков // Сборник научных трудов «Проблемы современного бетона и железобетона». Выпуск 3: в 2 т. – Минск, РУП «БелНИИС», 2011 Т. 2. – С.53-68.
4. Holland T.C. Working with Silica Fume in Ready-Mixed Concrete - USA Experience. CANMET/ACI Third International Conference. Trondheim, Norway, 1989, Proceedings, V.2, p.p. 763-781.
5. Radjy F.F., Bogen T., Sellevold E.J., Loeland K.E. A Review of Experiences with Condensed Silica-Fume Concretes and Products. CANMET/ACI Second International Conference. Madrid, Spain, 1986, Proceedings, V.2, p.p.1135-1152.
6. Method of Producing Stabilized aqueous dispersions of Silica Fume. US Patent № 4321243 C04B, 33/141.

7. Method of Compacting Silica Dust. US Patent № 4126424, B01J 2/16.
8. ТУ 5743-02595332-96 “Модификатор бетона марки МБ-01. Технические условия” (НИИЖБ, 1996 г.).
9. Химическая добавка для ускорения твердения цемента. //Патент № 21123ВУ, МКИ С 04 В 22/08, опубл. 10.03.2017
10. Гуриненко, Н.С. Цементный камень с ультрадисперсным микрокремнеземом / Н.С. Гуриненко // Сборник статей по материалам Международной научно – технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И.Н. Ахвердова и С.С. Атаева «Инновации в бетоноведении, строительном производстве и подготовке инженерных кадров»: в 2 ч. – Минск, БНТУ, 2016 Ч. 1. – С.71 – 76.
11. Гуриненко, Н.С. Конструкционный тяжелый бетон с добавкой ультракремнезема / Н.С. Гуриненко, Э.И. Батяновский // Международная научно-техническая конференция «Инновации в дорожном строительстве.» Сборник докладов – Минск, БелдорНИИ, 2016 – С.105 – 114.
12. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. – М.: Высшая школа,1973. – 498 с.
13. Бибик, М.С. Оценка кинетики твердения цементного камня с использованием термодатчиков системы «Термохрон» / М.С. Бибик, В.В. Бабицкий // Строительная наука и техника. – 2010. –№ 4. – С. 23–26.
14. Гущин, С.В. Экспресс-метод оценки эффективности противоморозных добавок / С.В. Гущин, В.В. Бабицкий // Строительная наука и техника. – 2015. –№ 6. – С. 9–18.
15. Тейлор, Х. Химия цемента. Пер. с англ. / Х. Тейлор. – М: Мир, 1996. – 500 с.
16. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.

НОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ *IN-SITU* ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Дереченник С.С., Тур В.В.

ВВЕДЕНИЕ. В настоящее время реализуется план разработки международных норм по проектированию железобетонных конструкций определенных, например TC250, как разработка Еврокодов нового поколения (G2). Этот период совпадает по времени с переработкой ряда национальных норм по железобетону, в частности СНБ 5.03.01 [1], и Национальных приложений к Еврокоду-2 (EC2).

Следует подчеркнуть, что в отличие от действующих норм проектирования, вновь разрабатываемые Еврокоды, а следом и Национальные приложения к ним, предполагают внесение специальных разделов, содержащих требования и адекватные расчетные модели для проверок предельных состояний существующих конструкций. Как оказалось, в отличие от национальной практики, в которой оценивание технического состояния существующих конструкций всегда уделяли достаточно пристальное внимание, в европейской практике этот вопрос оказался довольно новым, особенно применительно к зданиям и сооружениям. Традиционно этому вопросу достаточно много внимания уделялось при оценивании технического состояния мостов. Поэтому для разработки разделов, относящихся к оцениванию существующих конструкций, в рамках рабочей группы комитета TC250/SD2/WG1 была создана специальная тематическая группа TG3 (Assessment of existing structures – Оценивание существующих конструкций).

Естественно, что при разработке моделей сопротивления, применяемых для проверок предельных состояний существующих конструкций, одним из ключевых вопросов является адекватное определение свойств материалов, в частности *in-situ* прочности. При применении метода частных коэффициентов для проверок предельных состояний железобетонных конструкций, основным параметром, описывающим физико-механические свойства бетона, является *in-situ* характеристическая прочность.

В общем случае процедура оценивания *in-situ* прочности бетона включает два этапа:

- 1) **Подготовка исходных данных для оценивания**, получаемых либо по результатам прямых испытаний выбуренных кернов в прессе, либо косвенными методами неразрушающего контроля с учетом оцененных неопределенностей получения результатов. Следует отметить, что важным вопросом в данном случае является оценивание выбросов; этот вопрос достаточно подробно рассмотрен, например, в [2].
- 2) **Собственно процедура оценивания полученных результатов испытаний** с применением адекватных зависимостей для вычисления эстиматоров квантилей прочности, т.е. характеристической *in-situ* прочности бетона. При этом следует различать две возможные процедуры оценивания *in-situ* характеристической прочности бетона:
 - а) оценивание соответствия прочности поставленного бетона указанному в спецификации классу по прочности на сжатие. В этом случае применимы критерии, разработанные для оценивания соответствия в рамках производственного контроля, как это, например, определено в СТБ EN 206 [3];
 - б) установление характеристической *in-situ* прочности бетона в существующей конструкции, как базовой характеристики для проверок предельных состояний конструктивного элемента в рамках метода частных коэффициентов. В данном случае основной целью испытаний следует считать не установление класса прочности бетона на сжатие (который, как известно, является величиной, получаемой прямым испытанием на образцах, хранившихся в стандартных условиях), а именно получение характеристики для выполнения проверочных расчетов. Разработка методов расчета эстиматора соответствующей квантили вероятностного распределения прочности является задачей довольно непростой. Особенно, когда подобное оценивание необходимо выполнять, опираясь

на ограниченные выборки результатов испытаний (как правило, $3 \leq N \leq 6$), как это имеет место при испытаниях выбуренных кернов.

Учитывая то обстоятельство, что в настоящее время выполняется переработка как европейского EN 13791 (CEN TG250/SG2), так и национального СТБ 2264 (ТКС8) стандартов, представляется целесообразным рассмотреть некоторые ключевые положения, касающиеся критериев оценивания характеристической *in-situ* прочности в соответствии с поставленной целью. Необходимо отметить, что в рамках EN 13791 испытание кернов является основным методом получения исходных данных для оценивания, а применение методов неразрушающего контроля рассматривается как альтернатива.

1. ОЦЕНИВАНИЕ *IN-SITU* ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ EN 13791

1.1 Актуальная версия EN 13791 (2006)

В соответствии с действующим стандартом [4] характеристическую *in-situ* прочность бетона на сжатие следует определять, пользуясь двумя методами (подходами) в зависимости от количества полученных единичных результатов испытаний:

- подход А (доступно для анализа как минимум 15 единичных результатов испытаний).

В данном случае эстиматор квантили $\hat{f}_{p,\gamma}$ *in-situ* прочности бетона имеет вид двойного критерия, опирающегося на работы R.Caspeele и L.Taerwe[5]:

$$\min \begin{cases} f_{ck, is} = f_{cm(n), is} - k_2 \cdot s, \\ f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4, \end{cases} \quad (1)$$

где s – стандартное отклонение для выборки результатов испытаний согласно [4]; если рассчитанное значение стандартного отклонения меньше 2 МПа, следует принять $s = 2,0$ МПа;

k_2 – коэффициент, принимаемый равным 1,48 при отсутствии дополнительных указаний;

- подход В (доступно для анализа от 3 до 14 единичных результатов испытаний):

$$\min \begin{cases} f_{ck, is} = f_{cm(n), is} - k, \\ f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4, \end{cases} \quad (2)$$

где k – коэффициент, зависящий от количества единичных результатов испытаний, принимаемый по Таблице 2 EN 13791 [4].

Как видно, двойной критерий (2) является некоторой модификацией нестатистического критерия, принятого в EN 206 [3] для оценивания соответствия на стадии начального производства (метод А по EN 206). Несмотря на то, что в отличие от критерия, принятого в EN 206, значение коэффициента в критерии (2) зависит от количества результатов испытаний, в работе [6] показано, что данный критерий разработан без ясного статистического обоснования. Из выполненного в этой работе анализа видно, что обеспеченность эстиматора квантили $\hat{f}_{p,\gamma}$ зависит от вида функции распределения прочности в популяции произведенного бетона и стандартного отклонения. Оценка с использованием критерия (2) может давать в ряде случаев непредсказуемый результат.

1.2 Проект новой версии EN 13791 (2016)

Новый подход к определению характеристической *in-situ* прочности бетона по результатам испытаний образцов, отобранных в полевых условиях, предложил Т.А.Harrison[7]. В соответствии с этим подходом используются методы оценивания, изложенные в приложении

Дк EN 1990 [8], опирающиеся на нормальный закон распределения для прочности. Значения эstimатора определяют по формуле:

$$f_{ck, is} = \hat{f}_{p, \gamma} = f_{cm(n), is} - t_{0.05} \cdot s_n \cdot \sqrt{1 + (1/n)}, \quad (3)$$

где s_n – стандартное отклонение (минимальное значение установлено равным 3 МПа, независимо от средней прочности);

Следует отметить, что при ближайшем рассмотрении зависимостей (1)...(3), применяемых в приведенных стандартах для вычисления эstimаторов *in-situ* прочности, возникают закономерные вопросы, на которые инженер, производящий оценивание бетона, не обращает должного внимания:

- 1) Какова обеспеченность единичной оценки *in-situ* характеристической прочности, полученной с использованием эstimаторов $\hat{f}_{ck, is}$, содержащихся как в действующих, так и в разрабатываемых Евростандартах? Остается ли эта обеспеченность постоянной, либо изменяется в процессе оценивания различных групп результатов, происходящих из испытаний одной партии?
- 2) Какой показатель может быть принят в качестве базы сравнения для оценки эффективности предлагаемого эstimатора *in-situ* характеристической прочности?

Необходимо понимать, что оценка *in-situ* характеристической прочности для ограниченной выборки результатов испытаний прочности (как правило, не более 6 результатов испытаний выбуренных кернов для некоторой группы конструктивных элементов) базируется на единичном значении эstimатора $\hat{f}_{ck, is}$, полученного по зависимостям, содержащимся в стандарте. Следует отметить, что обеспеченность γ оценки характеристической прочности $\hat{f}_{ck, is} = \hat{f}_{p, \gamma}$ в этом случае является неизвестной. Несмотря на то, что все результаты полевых испытаний прочности получают по образцам, отобраным из конструкции, изготовленной из одной партии оцениваемого бетона, другая партия результатов испытаний даст другое значение эstimатора $\hat{f}_{ck, is}$, соответствующее другой обеспеченности в функции распределения эstimатора.

2. НОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ВЫБОРКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

2.1 Обоснование и формулировка нового метода

Нами был разработан новый метод оценивания характеристической прочности бетона в существующих конструкциях (без оценивания соответствия его какому-либо классу прочности) на основе порядковых (непараметрических) статистик, который может быть применим в случаях ограниченной исходной информации (т.е. при ограниченном числе результатов испытаний).

Исходной предпосылкой нового метода является известный способ интервального оценивания квантилей [9, 10], в котором с использованием биномиального распределения вычисляется вероятность принадлежности квантили f_p заданного уровня p любому непараметрическому интервалу $[f_{c(r)}, f_{c(s)}]$ вариационного ряда $f_{c(1)} \leq f_{c(2)} \leq \dots \leq f_{c(R)} \leq \dots \leq f_{c(N)}$, получаемого путем ранжирования исходного ряда единичных результатов испытаний (выборки измерений) $f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cN}$.

Непосредственное применение данного способа вызывает существенные проблемы в случае анализа положения квантили невысокого уровня (например, оцениванию характеристического значения прочности материала f_{ck} соответствует уровень $p = 0,05$). Поскольку квантиль f_p с вероятностью не менее 0,5 покрывается размахом исходного ряда (т.е. войдет

в диапазон $[f_{c(1)}, f_{c(N)}]$) лишь при выполнении условия $N \geq \log 0,5 / \log(1-p)$, для типового значения $p = 0,05$ имеем: $N \geq 14$. В подавляющем большинстве случаев анализа прочности бетона в существующих конструкциях число N результатов испытаний значительно меньше, поэтому истинное характеристическое значение прочности $f_{ck, is}$ практически всегда будет меньше (возможно, даже существенно) минимального значения прочности в исходной выборке.

Ранее нами была разработана оригинальная процедура получения оценки «снизу» искомой квантили с произвольно задаваемой обеспеченностью. Под обеспеченностью (коэффициентом доверия) γ оценки $\hat{f}_{p, \gamma}$ квантили уровня p понимается вероятность того, что оценка не превысит истинного значения квантили. Такая процедура позволила создать новый критерий статистического оценивания соответствия прочности бетона, и описана нами ранее [11].

Применяя аналогичный подход к задаче анализа прочности бетона в существующих конструкциях, сформулируем новый метод вычисления оценки характеристической прочности бетона (т.е. квантили уровня $p = 0,05$) как линейной комбинации трех первых порядковых статистик эмпирического ряда измерений:

$$f_{ck, is} = \hat{f}_{0,05, \gamma} = f_{c \min} - \lambda_1 \cdot \Delta_{2-1} - \lambda_2 \cdot \Delta_{3-2}, \quad (4)$$

где $f_{c \min} = \min f_{ci} = f_{c(1)}$ – наименьшее значение в группе из n последовательных единичных результатов f_{ci} испытаний ($3 \leq N \leq 15$);

$\Delta_{2-1} = f_{c(2)} - f_{c(1)}$ и $\Delta_{3-2} = f_{c(3)} - f_{c(2)}$ – неотрицательные разности;

$f_{c(1)}$, $f_{c(2)}$ и $f_{c(3)}$ – соответственно, первая, вторая и третья порядковые статистики (первый, второй и третий члены вариационного ряда, составленного по возрастанию единичных результатов f_{ci} испытаний),

$\lambda_1 = \lambda_1(\gamma, N)$, $\lambda_2 = \lambda_2(\gamma, N)$ – безразмерные тестовые коэффициенты, зависящие от объема N выборки результатов испытаний, а также от заданной обеспеченности γ оценки.

В качестве примера, значения тестовых коэффициентов, найденные для уровней обеспеченности искомой квантили $\gamma = 0,5$ и $\gamma = 0,75$, округленные до сотых долей, приведены в Таблице 1 [12].

Таблица 1 – Тестовые коэффициенты λ_1 , λ_2 для расчета оценки характеристической прочности бетона для выборки объема N при различной обеспеченности оценки [12]

| N | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Обеспеченность $\gamma = 0,50$ | | | | | | | | | | | | | |
| λ_1 | 0,38 | 0,38 | 0,34 | 0,28 | 0,23 | 0,17 | 0,11 | 0,05 | 0,0 | -0,05 | -0,10 | -0,14 | -0,19 |
| λ_2 | 0,68 | 0,66 | 0,62 | 0,56 | 0,50 | 0,44 | 0,39 | 0,34 | 0,29 | 0,24 | 0,20 | 0,15 | 0,12 |
| Обеспеченность $\gamma = 0,75$ | | | | | | | | | | | | | |
| λ_1 | 1,06 | 1,16 | 1,15 | 1,10 | 1,03 | 0,96 | 0,88 | 0,805 | 0,73 | 0,66 | 0,59 | 0,52 | 0,46 |
| λ_2 | 1,32 | 1,39 | 1,37 | 1,32 | 1,26 | 1,18 | 1,11 | 1,04 | 0,97 | 0,90 | 0,84 | 0,78 | 0,72 |

Верификация нового метода оценивания *in-situ* прочности детально представлена в наших работах [12,13]. Было показано, что новый метод оценивания имеет явные преимущества перед известными методами стандарта EN 13791 (методы *A* и *B*, см., соответственно, п.п. 1.1 и 1.2), так как дает возможность получить несмещенную и состоятельную оценку характеристической прочности бетона в существующих конструкциях при ограниченном количестве результатов испытаний прочности. Помимо этого, новый метод позволяет получать оценку с заранее заданной обеспеченностью (коэффициентом доверия).

Вместе с тем, отмечены также состоятельность и более высокая эффективность оценок, получаемых методами *A* и *B*, однако данное преимущество выглядит сомнительным с точки зрения обеспечения надежности (безопасности) конструкций из следующих соображений:

во-первых, уровень обеспеченности этих оценок, установленный в результате выполненной симуляции, колеблется в широких пределах, а априори (при практическом применении известных методов) вообще неизвестен;

во-вторых, в некоторых случаях (например, для бетона класса С 30/35 при $\sigma = 5$ МПа и $N > 10$) в достаточно узкий, ввиду формально высокой эффективности оценки, интервал ее рассеяния истинное значение характеристической прочности вообще не попадает (!).

2.2. Восстановление вероятностного распределения оценки квантили новым методом и определение уровня обеспеченности оценок для известных методов

Необходимо особо отметить, что представленные выше свойства оценок относятся ко всей популяции произведенного бетона. В реальной ситуации, когда оценивается отдельная партия бетона (область существующей конструкции), ситуация несколько иная.

Как уже указывалось (см., например, Табл. 1), новый метод оценивания допускает выполнение оценивания при произвольном задании уровня обеспеченности γ . Нами были найдены значения безразмерных тестовых коэффициентов λ_1 , λ_2 критерия в широком диапазоне значений γ (приведены на рисунке 1), что дает возможность вычислять значения оценки характеристической прочности, соответствующие различным процентилям (например, децилям) вероятностного распределения.

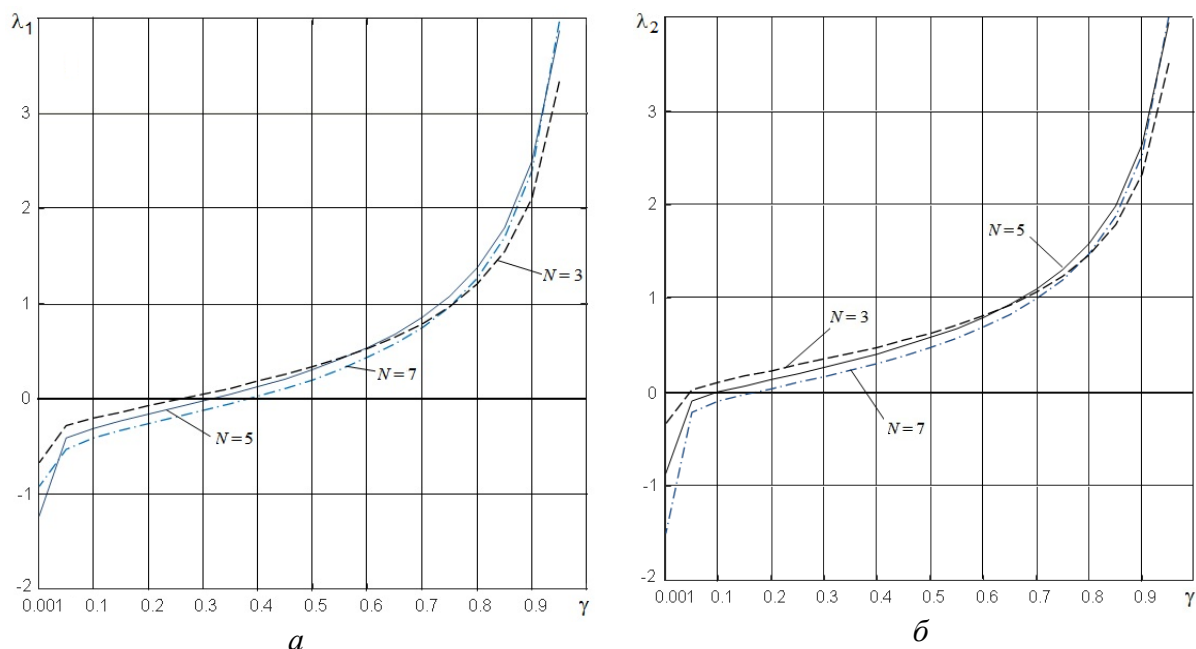


Рисунок 1 – Значения тестовых коэффициентов λ_1 (а) и λ_2 (б) критерия для расчета оценок характеристической прочности бетона с различной обеспеченностью по выборке объема N

В свою очередь, это позволяет, с заданной точностью, численным методом восстановить эмпирическое распределение вероятности $g(\hat{f}_{ck, is})$ оценки 0,05-квантили для конкретной

выборки результатов измерений прочности. На рисунке 2 представлены примеры восстановленных распределений эстиматора квантили – для случая минимального объема выборки ($N = 3$) и диапазона параметра $\gamma = 0,05 \dots 0,95$ с шагом, равным 0,05 (уменьшая шаг, можно получать почти гладкие функции).

Существенное влияние на результаты оценивания оказывает размах эмпирической выборки (изменчивость результатов внутри эмпирического теста). Ввиду значительной изменчивости, формально, более высоким результатам измерения прочности в выборке $\{36,1; 36,5; 42,6 \text{ МПа}\}$ соответствует распределение (показано на рисунке точечной линией), в котором вероятность того, что оценка характеристической прочности окажется ниже указанной в классе (30 МПа), достигает 0,35. Напротив, выборка $\{33,5; 34,4; 35,6 \text{ МПа}\}$, включает очевидно более низкие результаты, но имеет и меньшую изменчивость, поэтому вероятность недостаточной (относительно указанной в классе) оценки характеристической прочности не превышает 0,15 (как первая, так и вторая выборки принадлежат одному и тому же классу бетона С 30/35).

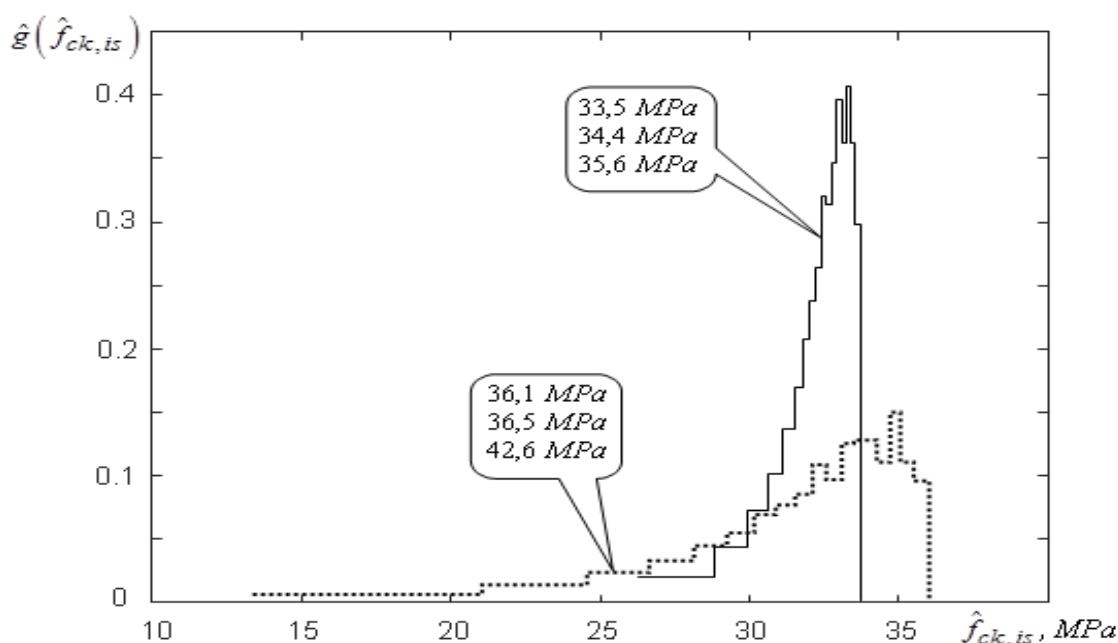


Рисунок 2 –Примеры вероятностных распределений характеристической прочности бетона класса С 30/35, восстановленных по ограниченным выборкам с использованием нового метода оценивания (в выносках приведены численные значения результатов испытаний прочности)

Восстановленное вероятностное распределение 5%-квантили прочности бетона дает возможность получить оценку характеристической прочности с любым заданным уровнем обеспеченности (в диапазоне вплоть до $\gamma = 0,95$). При этом важнейшим становится вопрос назначения этого уровня. Например, вряд ли уровень обеспеченности $\gamma = 0,50$ может считаться достаточным для целей практического оценивания прочности бетона в существующих конструкциях. Ведь в этом случае результат оценивания по конкретной выборке результатов с вероятностью 0,5 может оказаться завышенным относительно фактической характеристической прочности (так называемое «переоценивание»), но и с такой же вероятностью $1 - \gamma = 0,5$ – заниженным («недооценивание»).

В связи с этим, наряду с методами стандарта EN 13791 (методы **A** и **B**) следует рассмотреть также способ оценивания, внесенный в CEN Guide на основе стандарта EN 1990, позволяющий, в предположении логнормального распределения параметра прочности, получить оценку с фиксированной обеспеченностью $\gamma = 0,75$ – **метод C**:

$$\begin{cases} f_{ck, is} = \hat{f}_{p, 0.75} = \exp(m_y - k_N s_y) \cdot [f_c] \\ m_y = \sum \ln x_i / N, \quad x_i = f_{ci} / [f_c] \\ s_y = \sqrt{\sum (\ln x_i - m_y)^2 / (N - 1)} \end{cases}, \quad (5)$$

где f_{ci} , $i = \overline{1, N}$ – единичные результаты измерения прочности бетона, МПа;

k_N – коэффициент, зависящий от количества n единичных результатов испытаний ($k_N = 3,37$ для $N = 3$ [*]).

$[f_c] = 1$ МПа – единица измерения прочности бетона.

Сравнительный анализ методов оценивания характеристической *in-situ* прочности бетона на сжатие, с использованием восстановленных распределений, выполнялся на эмпирических результатах испытаний, полученных в полевых условиях для нескольких групп бетонов с характеристической прочностью в диапазоне 30...40 МПа. Объем группы – от 61 до 89 тестов, или от 183 до 267 единичных результатов (все тесты состояли из трех результатов). Для этих тестов, с использованием нового метода, восстанавливали распределение эstimатора прочности ($N = 3$) с шагом уровня обеспеченности $\Delta\gamma = 0,05$, а затем вычисляли оценки *in-situ* характеристической прочности указанными выше методами **A**, **B** и **C**. Результаты сравнения уровней обеспеченности приведены на рисунке 3. В приведенных примерах восстановленных распределений обеспеченность эstimатора *in-situ* характеристической прочности уменьшается при движении по «ступенькам» гистограммы слева направо: начало первой (крайней слева) «ступеньки» соответствует обеспеченности оценки $\gamma = 0,95$, второй – обеспеченности $\gamma = 0,90$, и т.д.

Сравнение положений эstimаторов, вычисленных известными методами, с гистограммами восстановленных распределений показало, что методы **A** и **B** весьма неустойчивы с точки зрения фактической обеспеченности получаемых оценок, которая может меняться в очень широких пределах – от 0,25...0,35 (как на рис. 3а) до более чем 0,95 (как на рис. 3в). Установлено, что занижение обеспеченности (т.е. «переоценивание» характеристической прочности бетона) имеет место при большом относительном размахе результатов испытаний прочности $v = (\Delta_{2-1} + \Delta_{3-2}) / f_{cmin}$ (более 0,23 в примере рис. 3а). Напротив, при малых значениях относительного размаха ($v = 0,03$ на рис. 3в и $v = 0,06$ на рис. 3г) наблюдается явное завышение обеспеченности, что означает существенное «недооценивание» параметра прочности. Лишь при средних значениях относительного размаха (например, $v = 0,08$ на рис. 3б) все три рассматриваемых метода дают сходный результат оценивания или даже совпадают.

Как уже указывалось, оценки, получаемые методами **A** и **B**, являются эффективными и состоятельными (но, в общем случае, также и смещенными). Однако в реальной ситуации, когда оценивается *in-situ* отдельная партия бетона (конкретный тест, содержащий всего лишь нескольких результатов испытаний), ситуация меняется: значимость формальной эффективности оценок «в целом» уступает более важному здесь свойству несмещенности. Наблюдаемые при этом отклонения оценок, получаемых методами **A** и **B**, от оценки по методу **C**, достигающие величины $\pm 4...5$ МПа и более, можно считать практически неприемлемыми.

Уровень обеспеченности оценок, получаемых методом **C**, варьируется в сравнительно узком диапазоне $\gamma = 0,70...0,80$ (см., например, рис. 5а и рис. 5г), что в целом соответствует декларируемому, для данного метода, фиксированному значению обеспеченности $\gamma = 0,75$ [*]. С этой точки зрения, данный метод следует признать наилучшим среди анализируемых известных методов.

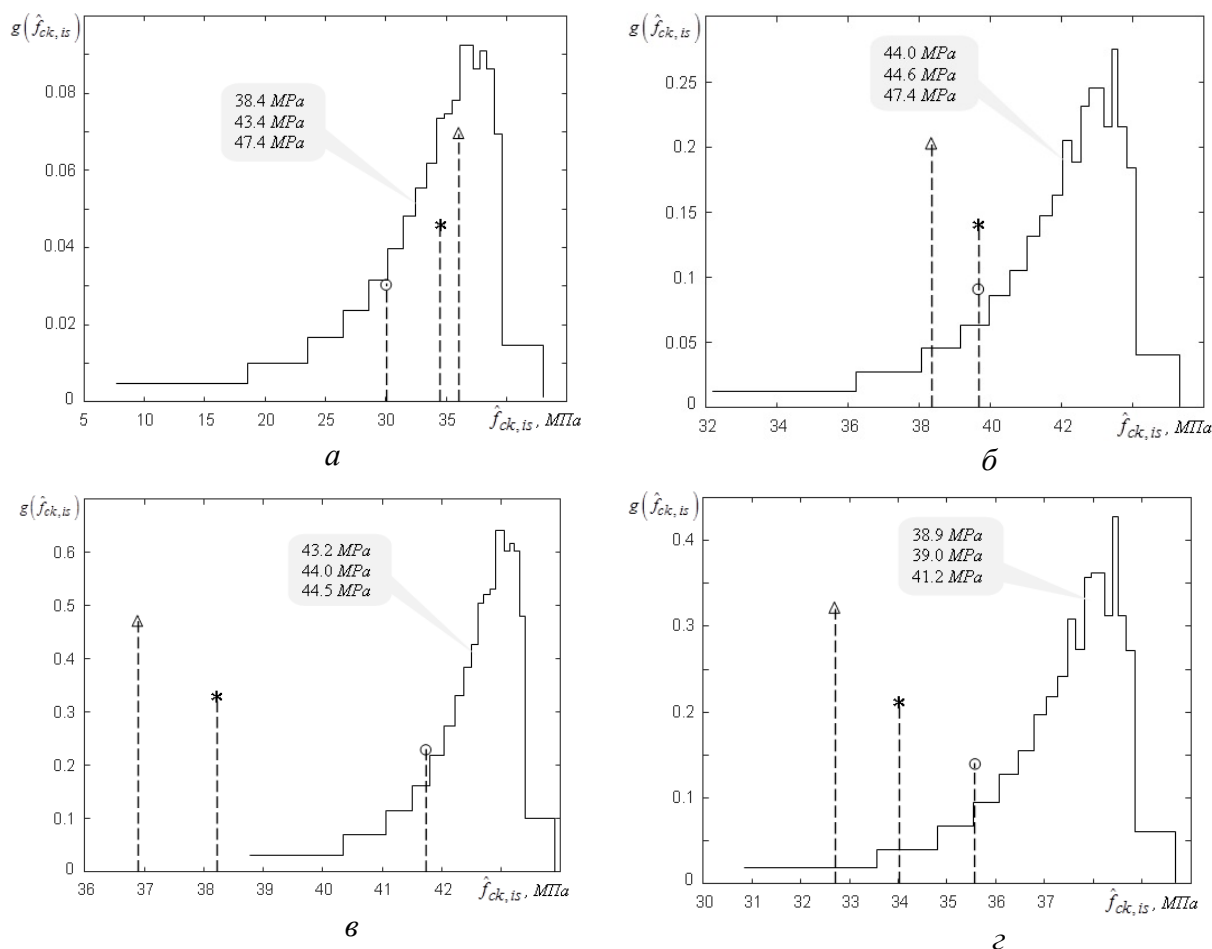


Рисунок 3 –Примеры вероятностных распределений эстиматора *in-situ* характеристической прочности бетона, восстановленных по ограниченным выборкам с использованием нового метода оценивания (в выносках приведены численные значения результатов испытаний прочности) – в сравнении с оценками, полученными другими методами:

▷ – метод *A*; * – метод *B*; ○ – метод *C*

Однако, по нашему мнению, оценивание *in-situ* характеристической прочности бетона с заранее заданным (фиксированным) значением обеспеченности оценки γ не является оправданным. Само по себе оценивание, в конечном счете, направлено на проверку фактического выполнения некоторых условий, обеспечивающих требуемую надежность существующей железобетонной конструкции, но ни один из известных методов (включая также и метод *C*) не содержит обоснования требуемого уровня обеспеченности γ , при которой следует подтверждать (или опровергать) выполнение таких условий.

Поэтому рассмотрим далее вопрос оценивания *in-situ* характеристической прочности бетона во взаимосвязи с вопросом достижения некоторой заданной надежности для конкретной анализируемой железобетонной конструкции.

3. АДАПТАЦИЯ НОВОГО МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА К РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ

3.1. Условия обеспечения расчетной (целевой) надежности железобетонных конструкций

Анализ надежности конструкции выполним на типовом примере расчета сжатой железобетонной колонны, в котором состояние колонны X определяется как разность ее сопротивления сжатию R и внешней сжимающей нагрузки E (с учетом ошибок k_R и k_E модели сопротивления и модели нагрузки, соответственно):

$$X = k_R \cdot R - k_E \cdot E = k_R (bh \cdot f_c + \rho \cdot bh \cdot f_y) - k_E (G + Q_{50}), \quad (6)$$

где b и h – соответственно, ширина и высота поперечного сечения колонны, m ;

f_c и f_y – прочность на сжатие, соответственно, бетона и металла арматуры, $Па$;

ρ – коэффициент армирования колонны;

G – величина постоянной нагрузки на колонну, H ;

Q_{50} – величина наибольшей, за период 50 лет, переменной нагрузки на колонну, H .

Все входящие в (6) переменные (за исключением коэффициента армирования $\rho = 0,005$) являются непрерывными случайными величинами, поэтому состояние колонны – также непрерывная случайная величина с некоторым распределением $g_X(X)$, тогда вероятность отказа (разрушения) колонны за установленный период:

$$q(t = 50 \text{ лет}) = \Pr\{X \leq 0\} = \int_{-\infty}^0 g_X(X) dX. \quad (7)$$

Путем деления (6) на масштабный коэффициент $k_R bh$, зависящий, в основном, от сечения колонны, получаем некоторое нормированное, к сечению колонны, состояние X^* – как разность прочности бетона на сжатие f_c и нормированной (к сечению колонны) нагрузки E^* :

$$X^* = f_c - E^* = f_c - \frac{k_E (G + Q_{50}) / k_R - \rho \cdot bh \cdot f_y}{bh}, \quad (8)$$

при этом вероятность отказа, очевидно, не претерпит изменений:
 $\Pr\{X^* \leq 0\} = \Pr\{X \leq 0\} = q$.

Для вероятностного моделирования распределения функции $g_X(X^*)$ состояния колонны рассчитаем полувероятностным методом частных коэффициентов значения переменных, входящие в (7), определим их как случайные величины и сведем их в таблицу 2.

Таблица 2 – Характеристика переменных функции состояния железобетонной колонны, как непрерывных случайных величин

| Обозначение переменной | Наименование переменной | Единица измерения | Параметры функции вероятностного распределения | | | |
|------------------------|-----------------------------|-------------------|--|-----------------------------|------------------|----------------------|
| | | | тип функции | характеристическое значение | среднее значение | коэффициент вариации |
| f_c | прочность бетона | $МПа$ | N | 30 | 38 | 4,8 / 38 |
| f_y | прочность арматуры | $МПа$ | LN | 500 | 560 | 0,054 |
| b | ширина сечения колонны | m | N | 0,5 | 0,5 | 0,033 |
| h | высота сечения колонны | m | N | 0,5 | 0,5 | 0,033 |
| G | постоянная нагрузка | $кН$ | N | 2000 | 2000 | 0,10 |
| Q_{50} | переменная нагрузка | $кН$ | GU | 1500 | 0,6×1500 | 0,35 |
| k_R | ошибка модели сопротивления | – | LN | – | 1 | 0,10 |
| k_E | ошибка модели нагрузки | – | LN | – | 1 | 0,10 |

Примечание. Типы функций: N – нормальное распределение; LN – логнормальное распределение; GU – распределение Гумбеля.

На рисунке 4 приведен пример результата вероятностно-статистического моделирования нормированной функции состояния для бетона класса С 30/37, а также принцип варьирования прочности бетона, что позволяет анализировать зависимость вероятности q отказа конструкции от характеристической прочности (фактора) $f_{ck, is}$.

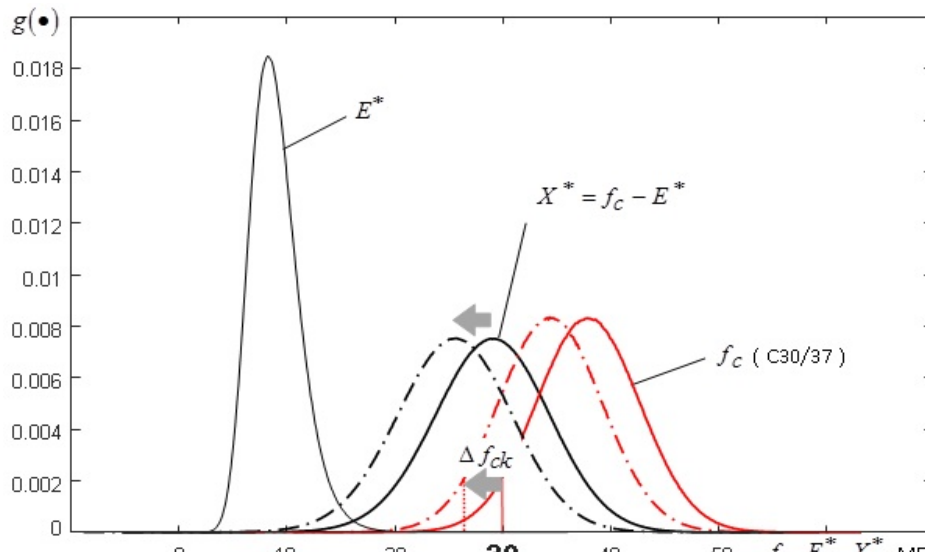


Рисунок 4 –Пример вероятностно-статистического моделирования нормированной (к сечению колонны) функции состояния X^* , как разности прочности бетона на сжатие f_c и нормированной (к сечению колонны) нагрузки E^* (стрелками показаны смещения функций прочности и состояния при изменении характеристической прочности бетона f_{ck})

В области малых значений вероятностей отказа (например $q \leq 10^{-3} \ll 1$) зависимость $q = q(f_{ck})$ может быть весьма точно аппроксимирована логарифмической регрессионной моделью (т.е. линейной моделью в полулогарифмических координатах) вида:

$$\lg q = a - b \cdot f_{ck} / [f], \quad (9)$$

где a, b – коэффициенты регрессионной модели,

$[f]$ – единица измерения параметра прочности бетона, $[f] = 1 \text{ МПа}$.

Так, например, представленная на рис. 5 модель (9) с коэффициентами $a = 2,3$ и $b = 0,288$ имеет коэффициент детерминации $R^2 = 0,9998$.

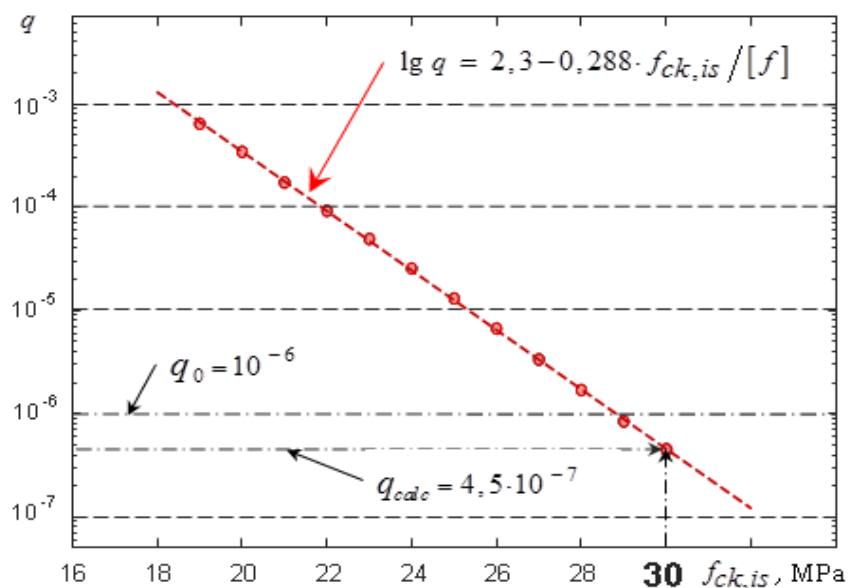


Рисунок 5 –Зависимость вероятности q отказа сжатой железобетонной колонны (в примере по данным табл. 3) от характеристической прочности бетона f_{ck} ,

где $[f] = 1 \text{ МПа}$ – единица измерения параметра прочности бетона

Вычислительные эксперименты, выполненные по моделям (8) и (9) для различных исходных данных, позволили сделать следующие заключения.

Во-первых, и функция вероятностного распределения нормированной нагрузки $g_E(E^*)$, и функция $g_X(X^*)$ состояния колонны существенно отличаются от гауссовых. Это обусловлено как негауссовым распределением некоторых составляющих функцию (8) переменных (например, переменная Q_{50} распределена по Гумбелю), так и применением ряда нелинейных операций (умножения, деления) с другими случайными величинами (переменными). В результате расчетное значение вероятности отказа конструкции оказывается существенно меньшим целевого значения $q_0 = 10^{-6}$ (в рассматриваемом примере по табл. 2 и рис. 5 эта вероятность ниже более чем вдвое: $q_{calc} = q(f_{ck} = 30 \text{ МПа}) = 4,5 \cdot 10^{-7}$, а величина индекса надежности при этом составила 5,44 против величины 4,75 в предположении нормального распределения). Таким образом, при использовании полувероятностного метода частных коэффициентов имеет место определенный запас надежности.

Во-вторых, в полулогарифмических координатах модель, описывающая вероятность отказа (9), оказывается практически линейной. При изменении коэффициента вариации прочности бетона меняется лишь положение этой линии, но ее наклон (например, абсолютная величина b углового коэффициента отрицательного наклона) остается постоянным. Коэффициент b связан прямой зависимостью с долей $\chi = Q_{50}/(G + Q_{50})$ переменной нагрузки в общей нагрузке. Отметим, что в рассматриваемом примере (см. табл. 2 и рис. 4) оба названных параметра достигают практически максимальных, для железобетонных конструкций, значения: $b = 0,288$ и $\chi = 0,43$.

Модель (9) позволяет определить оценку вероятности отказа конструкции по любой конкретной оценке *in-situ* характеристической прочности бетона $\hat{f}_{ck, is}$, найденной любым из известных методов. Возможно также и решение обратной задачи поиска некоторой «целевой» характеристической прочности, соответствующей целевой надежности (например, вероятности отказа конструкции $q_0 = 10^{-6}$): $f_{ck}^o = [f] \cdot (a - \lg q_0) / b$.

Однако наибольшие возможности исследования открываются при совместном использовании модели (9) и восстановленного новым методом по (1) вероятностного распределения $g(\hat{f}_{ck, is})$ оценки 0,05-квантили прочности бетона, как множества оценок $\hat{f}_{ck}(\gamma)$ для различных значений γ обеспеченности оценки.

Прежде всего, это позволяет однозначно, как показано на рисунке 6, определить функцию распределения оценки вероятности отказа $h(\hat{q})$. Следует отметить, что найденная функция $h(\hat{q})$ не идентична функции $g(\hat{f}_{ck, is})$, поскольку является результатом нелинейного (показательного) преобразования $\varphi(\bullet)$:

$$q = \varphi(f_{ck}) = 10^{a - b \cdot f_{ck} / [f]}. \quad (10)$$

В этом случае появляется возможность сформулировать условия, обеспечивающие требуемую надежность существующей железобетонной конструкции – например, в виде достижения некоторой средней вероятности $\bar{\hat{q}}$ ее отказа.

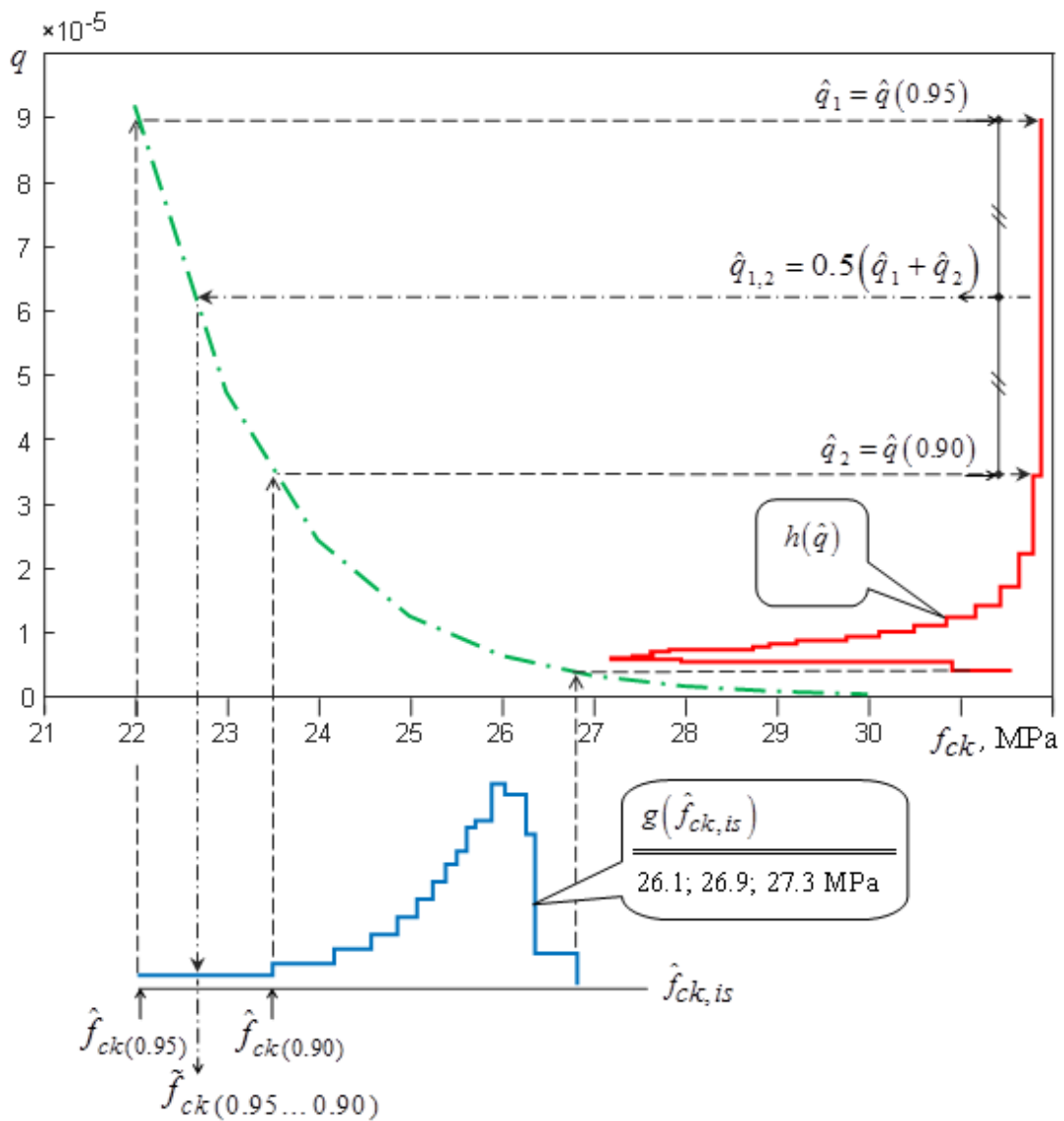


Рисунок 6 –Примернелинейного преобразования восстановленного распределения оценки *in-situ* характеристической прочности бетона (внизу вдоль оси абсцисс) в функцию распределения вероятности отказа сжатой железобетонной колонны (справа вдоль оси ординат), а также пример вычисления эквивалентной характеристической прочности для одной ступеньки гистограммы

3.2. Показатели прочности, эквивалентные среднему уровню конструкционной надежности (ALSR¹) железобетонных конструкций

Величина оценки вероятности отказа в рамках моделей (1) и (9) является, в конечном счете, функцией $\hat{q} = \varphi(\hat{f}_{ck(\gamma)}) = \hat{q}(\gamma)$ величины γ обеспеченности оценок. Если функция $g(\hat{f}_{ck, is})$ непрерывна и определена на некотором интервале величины γ , искомое среднее соответствует математическому ожиданию на этом же интервале: $\bar{q} = \int \hat{q} h(\hat{q}) d\hat{q}$.

В рассматриваемом же примере функция $g(\hat{f}_{ck, is})$ представлена в виде гистограммы с $K-1=19$ интервалами равной вероятности ($\Delta\gamma=0,05$), то есть множеством оценок: $\{\hat{f}_{ck(\gamma_k)}, \gamma_k = 1 - k \Delta\gamma, k = \overline{1, K}\}$. Аналогичным множеством описывается также функция

¹ ALSR – Average Level of Structural Reliability (англ.)

$h(\hat{q}) : \{ \hat{q}_k = \hat{q}(\gamma_k), j = \overline{1, K} \}$, тогда средняя вероятность отказа \bar{q} может быть получена как выборочное среднее для средних арифметических величин $\bar{q}_{k, k+1}$, вычисляемых для каждого интервала:

$$\bar{q} = \sum_{k=1}^{K-1} \hat{q}_{k, k+1} / (K-1) = \sum_{k=1}^{K-1} (\hat{q}_k + \hat{q}_{k+1}) / (2K-2). \quad (11)$$

Следует уточнить, что в рассматриваемом примере по выражению (10) фактически вычисляется усеченное выборочное среднее, т.к. интервал γ ограничен сверху значением $\gamma_{\max} = 0,95$, т.е. оценивание выполняется на уровне значимости $\alpha = 1 - \gamma_{\max} = 0,05$.

Под эквивалентной характеристической прочностью $\tilde{f}_{ck} = \varphi^{-1}(\bar{q})$, соответствующей среднему уровню \bar{q} конструкционной надежности ALSR, понимаем значение характеристической прочности $f_{ck, is}$ из интервала определения восстановленного распределения $g(\hat{f}_{ck, is})$, обеспечивающее тот же уровень надежности согласно (9).

Важно отметить, что эквивалентная характеристическая прочность \tilde{f}_{ck} не есть арифметическое среднее (или математическое ожидание) функции $g(\hat{f}_{ck, is})$, а может быть отнесена к известному среднему Колмогорова (англ. *quasi-arithmetic mean*):

$$\tilde{f}_{ck} = M_{\varphi}(f_{ck}) = \varphi^{-1} \left[\left(\varphi(f_{ck1}) + \dots + \varphi(f_{ckK}) \right) / K \right]. \quad (12)$$

По аналогии с часто используемыми вариантами «степенных» средних (арифметическое, геометрическое, гармоническое и др.), величина \tilde{f}_{ck} может быть названа «средним показателем». Так как функция (9) выпуклая, среднее вида (11), согласно известному неравенству Йенсена (англ. *Jensen's inequality* [14]), всегда меньше среднего арифметического: $\tilde{f}_{ck} < \bar{f}_{ck}$. Преобразованием выражения (9) к экспоненциальной функции:

$$q = \varphi(f_{ck}) = 10^{a-b \cdot f_{ck} / [f]} = 10^a \cdot 10^{-b \cdot f_{ck} / [f]} = A \cdot e^{-b \cdot \ln 10 \cdot f_{ck} / [f]} = A \cdot e^{B \cdot f_{ck}}, \quad (13)$$

с учетом инвариантности среднего Колмогорова к масштабированию (множителю A), среднее показательное сводится к версии известной функции LSE (англ. *log-sum-exp* – логарифм суммы экспонент аргументов) с постоянным сдвигом. Такая функция используется в математике как плавное приближение к максимальной функции, и встречается, например, в задачах машинного обучения (в качестве кумулянта биномиального семейства), а также разделения однофазных смесей данных [15].

На рис. 8 (снизу, вдоль оси абсцисс) представлена функция распределения $g(\hat{f}_{ck, is})$ ступенчатого вида, восстановленная с шагом $\Delta\gamma = 0,05$ на уровне значимости $\alpha = 1 - \gamma_{\max} = 0,05$ (на отрезке параметра уровня обеспеченности $\gamma \in (0; 0,95]$), а также соответствующая ей функция $h(\hat{q})$ для вероятности отказа конструкции (справа, вдоль оси ординат). Здесь же иллюстрирован пример вычисления некоторой промежуточной величины \tilde{f}_{ck} (0.95...0.90) – как эквивалентной характеристической прочности (среднего показательного с основанием степени $10^{-0,288} \approx 0,515$) для первой (слева) из $K-1=19$ ступенек гистограммы распределения.

Таким образом, известная зависимость вероятности отказа железобетонной конструкции от характеристической прочности бетона $q = \varphi(f_{ck})$, а также восстановленное распределение

оценки *in-situ* этой характеристической прочности $g(\hat{f}_{ck, is})$ однозначно определяют величину \tilde{f}_{ck} эквивалентной характеристической прочности, которая обеспечивает (на принятом уровне значимости α) некоторый средний уровень конструкционной надежности ALSR для данной конструкции. Более того, на множестве оценок $\{\hat{f}_{ck(\gamma)}\}$ (т.е. на восстановленном распределении $g(\hat{f}_{ck, is})$), можно определить также и соответствующую величину эквивалентной обеспеченности $\tilde{\gamma}$, для которой $\hat{f}_{ck(\tilde{\gamma})} = \tilde{f}_{ck}$. Этот результат оказывается весьма важным в практическом плане.

Нами установлено, что эквивалентная обеспеченность $\tilde{\gamma}$ оценки *in-situ* характеристической прочности (представлено на рис. 7) не зависит от параметра положения (абсолютных значений) распределения прочности, но растет с увеличением параметра масштаба распределения, например – с увеличением разности между третьей и первой порядковыми статистиками вариационного эмпирического ряда измерений прочности $\Delta = f_{c(3)} - f_{c(1)} = \Delta_{3-2} + \Delta_{2-1}$ (т.е. размаха выборки в случае $N = 3$).

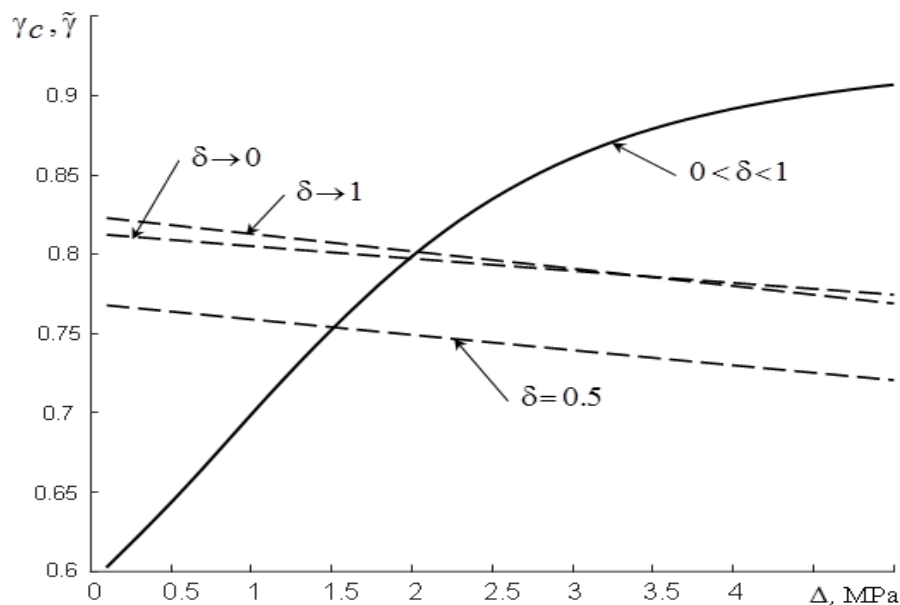


Рисунок 7 – Влияние размаха выборки (объема $N = 3$) измерений прочности бетона на обеспеченность оценки характеристической *in-situ* прочности по методу $C(\gamma_c, \text{пунктирные линии})$ и на эквивалентную обеспеченность согласно новому методу ($\tilde{\gamma}$, сплошные линии) при различном соотношении $\delta = \Delta_{3-2}/\Delta_{2-1}$ разностей эмпирического вариационного ряда измерений прочности

Как показано на рисунке 6 для случая $N = 3$, с увеличением размаха выборки Δ от 0,1 до 5 МПа эквивалентная обеспеченность $\tilde{\gamma}$ монотонно растет с 0,6 до 0,92, при этом она практически нечувствительна к соотношению разностей $\delta = \Delta_{3-2}/\Delta_{2-1}$.

Для сравнения, на этом же рисунке показаны свойства оценки характеристической прочности, получаемой по методу $C[*]$. Обеспеченность этой оценки, напротив, мало зависит от размаха выборки (даже слегка снижается с его увеличением), но параметр δ уже существенно на нее влияет. Таким образом, декларируемая фиксированная обеспеченность оценки $\gamma = 0,75$ ([*]) фактически достигается только при средних значениях размаха при одновременном выполнении условия $\Delta_{3-2} \approx \Delta_{2-1}$.

3.3. Алгоритм оценивания *in-situ* эквивалентной характеристической прочности бетона

В соответствии с предложенным методом, оценивание *in-situ* характеристической прочности бетона в существующей железобетонной конструкции выполняют в следующем порядке:

- а) ранжируют (по возрастанию) выборки из N единичных результатов f_{ci} испытаний прочности бетона на сжатие для определения трех первых порядковых статистик $f_{c(1)}$, $f_{c(2)}$ и $f_{c(3)}$;
- б) вычисляют разность $\Delta = \Delta_{3-1} = f_{c(3)} - f_{c(1)}$;
- в) при известном коэффициенте b регрессионной модели (9) определяют эквивалентную обеспеченность $\tilde{\gamma}$ оценки, используя график, аналогичный представленному на рис. 6;
- г) используя найденное значение эквивалентной обеспеченности $\tilde{\gamma}$, для данного объема выборки N , по графикам на рис. 1 находят значения тестовых коэффициентов λ_1 и λ_2 ;
- д) вычисляют оценку эквивалентной характеристической прочности по уравнению (1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Предложен новый эстиматор $\hat{f}_{p,\gamma}$ оценивания характеристической *in-situ* прочности, основанный на положениях теории порядковых статистик. В рамках предложенного подхода существует возможность рассчитать значения коэффициентов λ_1 и λ_2 , входящих в аналитическое описание эстиматора $\hat{f}_{p,\gamma}$, для различных уровней γ вероятностной обеспеченности оценки. Это в свою очередь дает возможность выполнить численное восстановление функции распределения эстиматора по каждой конкретной выборке результатов испытаний ограниченного объема N , начиная с $N = 3$ (!).

1. Предложенный подход к восстановлению распределения эстиматора по ограниченной выборке результатов позволяет получить «шаблон» для анализа эстиматоров другого типа. Анализ, проведенный на фоне данных, полученных в полевых испытаниях, показал, что обеспеченность оценок, получаемых известными методами, может изменяться в широких пределах – от 0,20 до 0,99 для метода **A** (EN 13791:2006 [4]), и от 0,45 до 0,99 для метода **B** (проект EN 13791:2016 [7,8]). В обоих этих методах наблюдается общая тенденция к завышению обеспеченности оценки, а тем самым – к занижению, по отношению к фактической характеристической прочности бетона, самой оценки, а значит и надежности оцениваемой конструкции.

2. Предложенный метод, позволяющий восстановить функцию распределения эстиматора $\hat{f}_{p,\gamma}$, должен также изменить и общий подход к оцениванию прочности бетона в существующих конструкциях, а именно: по конкретным результатам испытаний (начиная с $N = 3$) численно восстанавливают функцию распределения $\hat{f}_{p,\gamma}$, а затем из нее принимают значение *in-situ* характеристической прочности для некоторого установленного уровня обеспеченности. Требуемый уровень обеспеченности оценки для эстиматора квантили $\hat{f}_{p,\gamma}$ устанавливают из совместного рассмотрения восстановленной функции распределения эстиматора *in-situ* характеристической прочности и показателей надежности анализируемой конструкции.

Список источников

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Введ. 20.06.02. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 177 с.

2. Тур, В.В. Новый подход к оцениванию прочности бетона на сжатие в существующих конструкциях / В.В.Тур, С.С.Дереченник, В.В.Колевчук // Проблемы современного бетона и железобетона: сборник науч. трудов. – Вып. 9. – Мн.: «Колорград», 2017. –С. 455–475.
3. Бетон. Требования, показатели, изготовление и соответствие: СТБ EN 206:2014 - 2016. – Введ. 01.07.17. – Минск: Госстандарт, 2017. – 108 с.
4. Оценка прочности на сжатие бетона в конструкциях и сборных элементах конструкций: СТБ EN 13791:2006 - 2012. – Введ. 10.02.12. – Минск: Госстандарт, 2012. – 26 с.
5. Caspeele, R. Numerical Bayesian updating of prior distributions for concrete strength properties considering conformity control / R.Caspeele, L.Taerwe // Advances in concrete construction. – 2013. – Vol. 1, No.1 – P. 85-102.
6. Holicky, M. Fractile estimation and sampling inspection in Building / M.Holicky, M.Vorlicek // Acta polytechnic CVUT. – 1992. – No. 1. – P. 87-96.
7. Harrison, T.A. Assessment of concrete compressive strength in structures / T.A.Harrison // XVII. ERMCO Congress Proceedings, Istanbul, Turkey, 4-5 June, 2015. –Turkish Ready Mixed Concrete Association, 2015. – P. 336-344.
8. Основы проектирования строительных конструкций: СТБ EN 1990:2004 - 2014. – Минск: Госстандарт, 2014. – 116 с.
9. Dawid, H.A. Order Statistics / H.A.Dawid. – NY: John Wiley & Sons, 1981. – 360 p.
10. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И.Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
11. Tur, V.V. An Innovation Conformity Criterion for Assessment of the Concrete Strength Under Uncertainty Conditions / V.V.Tur, S.S.Derechennik // High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet: Proceedings of the 2017 *fib* Symposium, held in Maastricht, The Netherlands, June 12–14, 2017 / D.A.Hordijk and M.Luković (eds.) – Springer International Publishing AG 2018. – P. 1628–1635.
12. Tur, V. Assessment of the concrete compressive strength in existing structures based on core test results / V.Tur, S.Derechennik // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 272. – p. 238-243.
13. Дереченник, С.С. Новый подход к оцениванию *in-situ* характеристической прочности бетона в существующих железобетонных конструкциях при ограниченном количестве результатов полевых испытаний / С.С.Дереченник, В.В.Тур // Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1 (109). – С. 109-115.
14. Jensen, J.L.W.V. (1906). Sur les fonctions convexes et les inégalités entre les valeurs moyennes / J.L.W.V.Jensen // Acta Mathematica 1906, 30 (1), 175–193.
15. Nilsen, T. Guaranteed bounds on information-theoretic measures of univariate mixtures using piecewise log-sum-exp inequalities / T.Nilsen, K.Sun // Entropy 2016, 18 (12), 442.

ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Долгонок А.В., Бакатович А.А.

Введение. Важной характеристикой стеновых материалов наряду с прочностными показателями является теплоизолирующая способность. Во время эксплуатации на теплопроводность значительное влияние оказывает влажность материала, постоянно изменяющаяся во времени. В исследованиях Шильда Е., Франчука А.У. [1, 2] рассмотрено влияние влажности на коэффициент теплопроводности и получены эмпирические формулы отражающие данное влияние для пеноизола, пенополистирола, силикатного кирпича. Для новых строительных материалов также требуется определение зависимостей коэффициентов теплопроводности от влажности.

Как известно, увеличение влажности материала приводит к повышению коэффициента теплопроводности [3], что ухудшает теплотехнические характеристики стеновых материалов. Для тепловлажностного расчета ограждающей конструкции необходимо определить влияние влажности материала на коэффициент теплопроводности, так как в процессе эксплуатации этот фактор может оказаться решающим в определении эффективной работы материала и его долговечности [4].

По причине отсутствия в нормативных документах стандартной методики по определению зависимости коэффициента теплопроводности от влажности за основу взята методика, применяемая Давыденко Н.В. в исследованиях теплоизоляционных материалов на растительном сырье [5].

Основная часть. Для изготовления стеновых блоков использовали дробленую солому и костру льна в качестве заполнителей. Цемент вводили как вяжущий компонент. В виде добавки применяли известь. Расход компонентов на 1 м^3 равен: цемент – 289 кг, известь – 71, заполнитель – 170 кг. С целью определения влияния влажности на коэффициент теплопроводности стеновых блоков предварительно изготавливали образцы в виде плит размерами $250 \times 250 \times 30$ мм на основе соломы и смеси соломы с кострой льна. В возрасте 28 суток образцы высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы и определяли коэффициент теплопроводности с использованием прибора ИТП – МГ4. Для стеновых материалов в сухом состоянии на основе соломы (составы 1 – 5) и соломы с кострой (составы 6 – 10) коэффициенты теплопроводности равны $0,085 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ и $0,075 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ соответственно. Плотность образцов составляла $530 \text{ кг}/\text{м}^3$. Затем образцы помещали в герметичную камеру на сетчатую подставку над водой и выдерживали определенное время (2, 5, 10, 25, 60 суток). Наибольшая продолжительность выдержки в камере 60 суток обусловлена достижением образцами максимального влагонасыщения. В течении данного временного периода гидрозатвор обеспечивает герметичность и поддержание в камере относительной влажности воздуха на уровне 97%. По истечении каждого временного периода измеряли плотность и коэффициент теплопроводности образцов во влажном состоянии. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 1.

Проведенные исследования показали, что за первые 2 суток плотность образцов на основе соломы (состав 1) возросла на $20 \text{ кг}/\text{м}^3$, коэффициент теплопроводности на $0,005 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, а влажность составила 3,8%. Значение плотности костросоломенных образцов (состав 6) возросло на $10 \text{ кг}/\text{м}^3$ при влажности 1,9%, а показатель коэффициента теплопроводности незначительно увеличился на $0,004 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Влажность состава 1 относительно величины показателя состава 6 увеличилась в 2 раза, а коэффициент теплопроводности соломенных образцов превысил на 14% показатель композита на основе костросоломенной смеси.

При анализе полученных экспериментальных данных установлено, что наиболее интенсивно влажность образцов увеличилась за первые 10 суток. Так для стенового материала (со-

став 3) влажность увеличилась в 2 раза в сравнении с показателями состава 1 за первые 2 суток и составила 7,5%, а значение коэффициента теплопроводности возросло на 17%. Влажность состава 8 на основе костросоломенной смеси заполнителей в сравнении с показателем состава 6 в возрасте 2 суток увеличилась в 3,2 раза и достигла 6%. При этом значение коэффициента теплопроводности увеличилось на 16,5%. В возрасте 10 суток коэффициент теплопроводности стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна увеличился на 25% и 23% относительно показателей в сухом состоянии.

Таблица 1 – Показатели плотности, влажности и теплопроводности стеновых материалов

| № состава | Вид заполнителя | Время выдерживания в камере, сутки | Физические характеристики | | | Коэффициент изменения теплопроводности |
|-----------|----------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|---|--|
| | | | плотность, кг/м ³ | влажность, % | коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С) | |
| 1 | солома | 2 | 550 | 3,8 | 0,09 | 1,059 |
| 2 | | 5 | 562 | 6,1 | 0,098 | 1,153 |
| 3 | | 10 | 570 | 7,5 | 0,106 | 1,247 |
| 4 | | 25 | 594 | 12,1 | 0,112 | 1,318 |
| 5 | | 60 | 608 | 14,8 | 0,119 | 1,4 |
| 6 | солома + костра льна | 2 | 540 | 1,9 | 0,079 | 1,053 |
| 7 | | 5 | 548 | 3,4 | 0,086 | 1,147 |
| 8 | | 10 | 557 | 6,0 | 0,092 | 1,227 |
| 9 | | 25 | 577 | 8,9 | 0,097 | 1,293 |
| 10 | | 60 | 588 | 10,9 | 0,104 | 1,387 |

Кроме того, установлено, что после 10 суток выдержки в камере разница в показателях соломенных и костросоломенных образцов сохраняется. Так влажность состава 3 возросла на 25% относительно величины состава 8, а коэффициент теплопроводности увеличился на 22%.

При достижении максимального влагонасыщения через 60 суток влажность состава 5 увеличилась в 2 раза в сравнении с показателем состава 3 при выдержке 10 суток и в 3,9 раза при сравнении с составом 1 при выдержке 2 суток. Прирост плотности составил 38 кг/м³ и 58 кг/м³, а коэффициент теплопроводности возрос на 12% и 32% в сравнении с показателями составов 3 и 1 соответственно. Для костросоломенных образцов (состав 10) влажность увеличилась в 1,8 раза относительно состава 8 и в 5,7 раза в сравнении с составом 6. При сравнении с показателями составов 8 и 6 зафиксировано увеличение плотности костросоломенных образцов на 31 кг/м³ и 48 кг/м³, а коэффициента теплопроводности на 13% и 32% соответственно.

Показатель плотности стенового материала на соломенном заполнителе при выдержке в камере 60 суток (состав 5) на 20 кг/м³ превысил значение образца 10, при увеличении влажности на 36%. Из анализа экспериментальных данных (таблица 1) следует, что коэффициент теплопроводности по истечении 60 суток стенового материала на основе смеси соломы с кострой (состав 10) равен 0,104 Вт/(м·°С), что на 15% меньше показателя состава 5 на основе соломы равного 0,119 Вт/(м·°С).

Дополнительно проведены исследования по определению сорбционной влажности соломы и костры льна в насыпном состоянии в камере над водой при относительной влажности воздуха 97%. Исследования показали, что максимальное значение в 35% показатель влажности соломы достигает через 15 суток, а влажность костры льна 10% составляет только на 9 сутки. Полученные результаты также подтверждаются исследованиями сотрудников Костромского государст-

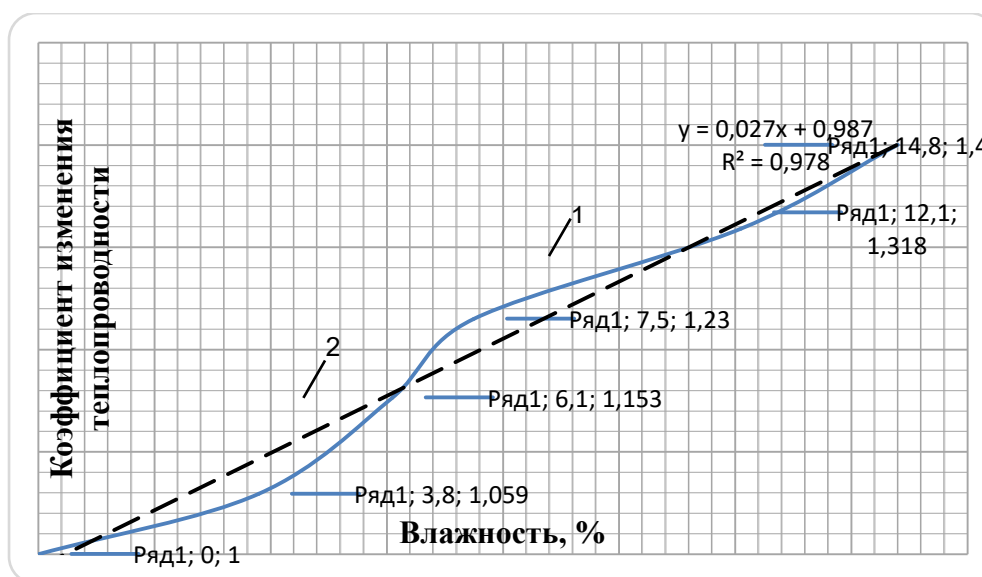
венного университета [6]. Соответственно, при замене части соломы кострой льна в стеновых блоках происходит замедление процессов поглощения материалом влаги из воздуха за счет более низкой сорбционной влажности костры льна.

Кроме того, при формовке стеновых блоков на основе дробленой соломы происходит смятие и деформация всех соломенных трубок по всему объему заполнителя, что приводит к нарушению целостности внешней оболочки и микроструктуры заполнителя. Локальные разрушения внешнего защитного слоя и микроструктуры способствуют увеличению сорбции водяных паров соломенными трубками.

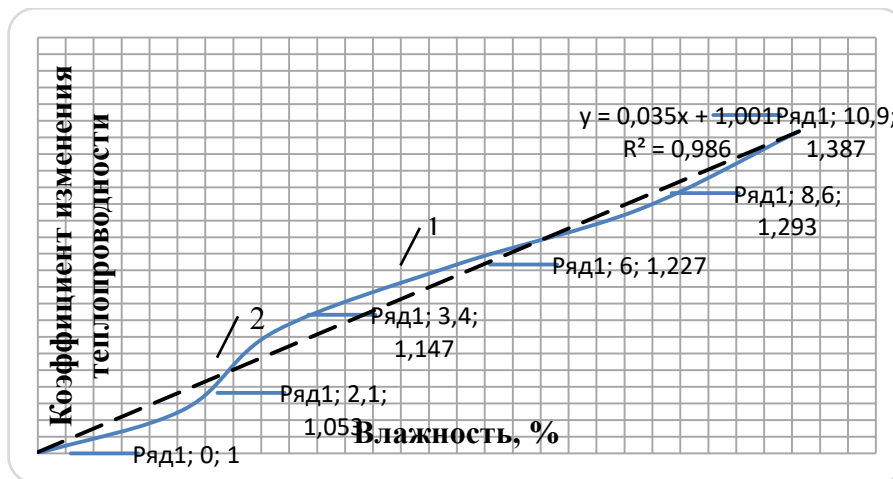
Введение костры льна в качестве мелкого заполнителя влечет за собой уменьшение объема костросоломенной смеси в сравнении с объемом соломенного заполнителя в насыпном состоянии, что способствует при формировании блоков смятию только трубок соломы диаметром 3 – 5 мм, а трубки диаметром менее 3 мм не подвергаются деформациям и не имеют поврежденной микроструктуры. Присутствие в костросоломенном каркасе неповрежденных трубок соломы в количестве 40 – 50% от массы крупного заполнителя дополнительно способствует снижению сорбции водяных паров стеновыми блоками на основе смеси из соломы и костры льна по сравнению с блоками на основе соломы.

Солома по своей природе является органическим материалом и подвержена ухудшению теплотехнических свойств из-за воздействия влаги. Из результатов исследований [7, 8] известно, что показатель влажности в 15 % является граничным, при котором в стеновом материале из соломы отсутствует ухудшение теплотехнических показателей. Увеличению влажности заполнителя из соломы до 16 % приведет к ухудшению качества соломенной трубки. Превышение порога влажности в 18 % приведет к активации спор находящихся на соломенной трубке и возникновению грибка [9]. В процессе исследований установлено, что максимальная влажность образцов содержащих солому в качестве заполнителя достигает 14,8% при относительной влажности воздуха 97%. Таким образом блоки на основе соломы могут достичь граничных условий по показателю влажности, что в дальнейшем будет способствовать снижению эксплуатационных характеристик, включая долговечность, а также стать причиной разрушения заполнителя и запустить механизм биоразложения соломы.

По результатам обработки данных эксперимента получены графики зависимостей (рис. 1, 2) коэффициентов изменения теплопроводности от влажности стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна.



1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая
Рисунок 1 – Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от влажности соломенного стенового материала



1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая
 Рисунок 2 – Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от влажности костросоломенного стенового материала

При анализе построенных графиков полученных по данным таблицы 1 установлено, что зависимость коэффициента теплопроводности стенового материала от изменения влажности аппроксимируется линейной функцией с коэффициентом корреляции $R^2 = 0.9783$ для образца на основе соломы и $R^2 = 0.9861$ для материала с наполнителем из костросоломенной смеси.

На основании лабораторных исследований и построенных графиков получены эмпирические зависимости 1, 2 для стеновых материалов на наполнителях из соломы и смеси соломы с кострой льна в виде выражений:

$$\lambda w_1 = \lambda_1 \cdot (1 + 0,0279 \cdot W_1), \quad (1)$$

$$\lambda w_2 = \lambda_2 \cdot (1 + 0,0354 \cdot W_2) \quad (2)$$

где λ_1, λ_2 – теплопроводность сухих стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна, Вт/(м·°C);

W_1, W_2 – влажность стеновых материалов, %;

0,0279; 0,0354 - коэффициенты переменной, определенные экспериментально для каждого стенового материала;

$\lambda_{w1}, \lambda_{w2}$ – теплопроводность материалов при данной влажности, Вт/(м·°C).

Используя выражения (1) и (2) построены зависимости коэффициента теплопроводности материала на основе соломы (прямая 1) и материала на основе смеси соломы с кострой (прямая 2) от заданных значений влажности (рис.3).

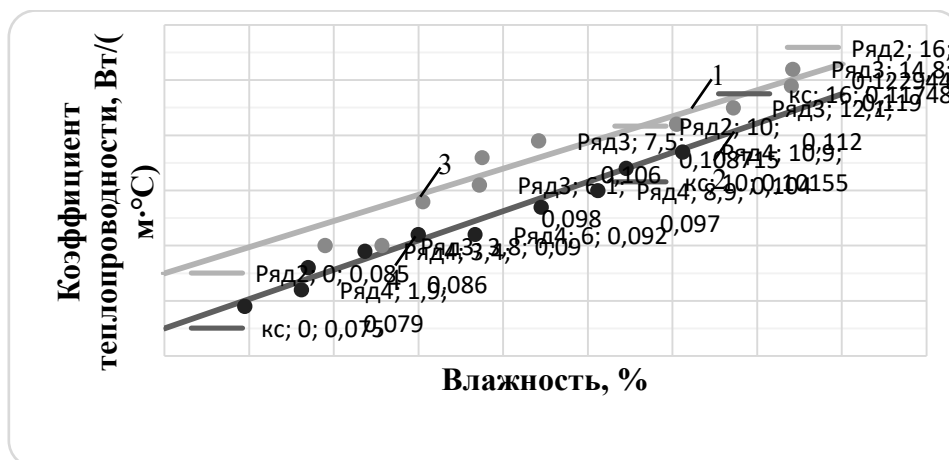


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности
 1 – эмпирическая зависимость для соломенного стенового материала;
 2 – эмпирическая зависимость для костросоломенного стенового материала;
 3 – экспериментальные данные для соломенного стенового материала;
 4 – экспериментальные данные для костросоломенного стенового материала

Полученные эмпирические зависимости для соломенных и костросломенных стеновых материалов обеспечивают возможность прогнозировать увеличение или понижение коэффициента теплопроводности в зависимости от влажностного режима эксплуатации стеновых ограждений зданий. Определенный расчетами влажностный режим работы стенового материала является необходимым условием для обоснования долговечности и оценки эффективности полученных стеновых блоков. Зависимость 1 и 2 могут использоваться при тепло-влажностном расчете проектируемых стеновых ограждений из блоков на основе соломы и соломы с кострой льна, а также при обосновании принимаемых технических решений для эффективной работы стеновой конструкции в целом.

Выводы. Представленные результаты показывают, что с использованием в качестве заполнителей соломы и костры льна для разработанных стеновых материалов с увеличением влажности возрастает коэффициент теплопроводности. После выдержки в камере влажность образцов на основе соломы достигла 14,8%, а теплопроводность повысилась на 40% до 0,119 Вт/(м·°С). Максимальная влажность образцов на основе смеси соломы с кострой составила 10,9%, что на 36% меньше по сравнению с образцами на основе соломы. При этом коэффициент теплопроводности увеличился на 39% и составил 0,104 Вт/(м·°С).

Установлено, что стеновые блоки на основе соломы при длительном нахождении в условиях 97% относительной влажности воздуха практически достигают порогового значения влажности равного 15%. Влажность составов на основе смеси из соломы и костры не превышает 10,9% и ниже граничного показателя на 38%, что обеспечит высокие теплотехнические показатели наружных стен из блоков в процессе эксплуатации.

Полученные эмпирические зависимости коэффициента теплопроводности от влажности позволяют на стадии проектирования объектов определить теплотехнические характеристики ограждающих конструкций в заданных условиях эксплуатации и оценить эффективность работы стенового материала, как тепловой изоляции.

Список источников

1. Шильд, Е. Строительная физика /Е. Шильд, Х.-Ф; Кассельман, Г. Дамен, Р. Поленц; Пер. с нем. В.Г. Бердичевского; под ред. Э.Л. Дешко. - М.: Стройиздат. - 1982. -296с, ил.
2. Франчук, А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов /
3. А.У. Франчук.г М: НИИСФ Госстроя СССР, 1965.
4. Давыденко, Н.В. Влияние показателя влажности на коэффициент теплопроводности соломенных и костросоломенных теплоизоляционных материалов / Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 73–78.
5. Lawrence, M. Determiningmoisturelevelsinstrawbaleconstruction / M. Lawrence, A. Heath, P. Walker // ConstructionandBuildingMaterials. -2009. Vol.23, Issue 8. – P. 2763 – 2768.
6. Давыденко Н. В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего: автореф. дис... канд. Техн. наук : 05.23.05 / Н. В. Давыденко; науч. рук. к.т.н. А.А. Бакатович; Брестский государственный технический университет. – Брест, 2016. - 28 с.
7. Угрюмов, С.А. Совершенствование технологии производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.21.05 / С.А. Угрюмов. – Кострома, 2009. – 295 с.
8. Bainbridge, D.A High performance low cost buildings of straw / D.A. Bainbridge // Agricultural, Ecosystem and Environment. -1986. Vol.16, Issue 3 – 4. – P. 281 – 284.
9. Steen, A., Steen, B., Bainbridge, D., The Straw-bale House / A. Steen, B. Steen, D. Bainbridge.: Publisher Chelsea Green Publishing., 1994. – 320.
10. Ashour T. An experimental investigation on equilibrium moisture content of earth plaster with natural reinforcement fibres for straw bale buildings / T. Ashour, H.Georg, W. Wu // Applied Thermal Engineering. -2011. Vol.31, Issue 2 – 3. – P. 293 – 303.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В ПОРОВОЙ СРЕДЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В УСЛОВИЯХ ВНУТРЕННЕГО УХОДА

Кравченко В.В.

Под внутренним уходом (англ. *internal curing*) подразумевается процесс, при котором гидратация цемента происходит с участием дополнительной воды, доступной для реакций гидратации, но не являющейся частью воды затворения [1].

Внутренний уход предполагает введение в структуру цементной системы специальных резервуаров (источников) дополнительной воды, которая затем в процессе гидратации мигрирует в поровую среду цементного камня, заполняя ее обезвоженные поры и предотвращая развитие процесса «самовысыхания» (англ. *self-desiccation*).

Внутренний уход является эффективным способом борьбы с аутогенной усадкой, обусловленной процессом «самовысыхания» в высокоэффективных бетонах. Аутогенная усадка является неотъемлемым свойством бетона, наибольший эффект которой проявляется в изолированных условиях, когда бетон не теряет влагу в окружающую среду, что характерно для плотной структуры высокоэффективных бетонов.

В качестве резервуаров дополнительной воды используют: а) мелкие фракции природных или искусственных легких пористых заполнителей, которые адсорбируют требуемое количество дополнительной воды в своей поровой среде, б) адсорбирующие полимеры, которые адсорбируют требуемое количество дополнительной воды в своей структуре, изменяя при этом свой первоначальный размер.

Одним из ключевых параметров процесса внутреннего ухода является распределение дополнительной воды в поровой среде цементного камня от поверхности резервуара, т.е. на какую глубину она способна мигрировать в его поровую среду. Мигрируя в поровую среду цементного камня, дополнительная вода заполняет его обезвоженные поры, располагаемые вокруг резервуара на расстоянии равным глубине ее миграции, т.е. вокруг каждого резервуара располагается определенный объем цементной матрицы, подверженной внутреннему уходу. Соответственно объем цементной матрицы, располагаемый на расстоянии большем, чем способна мигрировать дополнительная вода от поверхности резервуара, будет недоступен для внутреннего ухода. Таким образом, от значения глубины миграции дополнительной воды зависит количество дополнительной воды, мигрирующей в поровую среду цементного камня, предопределяя продуктивность внутреннего ухода в высокоэффективных бетонах.

Распределение дополнительной воды в поровой среде цементного камня можно оценить при моделировании процесса фильтрации дополнительной воды в поровой среде цементного камня.

В данной работе моделируется распределение дополнительной воды в поровой среде цементного камня, твердеющего в условиях внутреннего ухода с использованием насыщенных водой пористых заполнителей.

Модель фильтрации воды в поровой среде цементного камня

В классическом представлении движение потока жидкости через пористую среду, в которой все поры полностью заполнены жидкостью, описывается законом Дарси:

$$\mathbf{v}_w = -\frac{\mathbf{k}}{\eta_w} \nabla p_w, \quad (1)$$

где \mathbf{v}_w – вектор скорости потока жидкости;

\mathbf{k} – тензор абсолютной проницаемости поровой среды 2 ранга;

p_w – давление в поровой жидкости;

η_w – динамическая вязкость жидкости.

Размер гелевых пор обуславливает тот факт, что основные процессы в цементном камне, происходящие при гидратации (например, процесс «самовысыхания», проявление капиллярного давления) развиваются в основном в капиллярной пористости, поэтому в данной работе моделирование фильтрации влаги в поровой среде цементного камня рассматривается в капиллярной пористости.

Вместе с тем необходимо учитывать, что поровая среда цементного камня, в процессе гидратации, частично заполнена жидкой фазой (свободная и адсорбированная вода) и частично газообразной фазой. В таком случае уравнение закона Дарси может быть представлено в следующем виде [2, 3]:

$$m_w \mathbf{v}_w = -\rho_w \frac{\mathbf{k}_w}{\eta_w} \nabla p_w = -\rho_w \frac{\mathbf{k} k_{r,w}}{\eta_w} \nabla p_w, \quad (2)$$

где m_w – количество жидкости в единице объема поровой среды;

\mathbf{k}_w – тензор проницаемости для жидкой фазы 2 ранга;

$k_{r,w}$ – относительная проницаемость поровой среды для жидкой фазы;

ρ_w – плотность воды.

Относительная проницаемость – это отношение фазовой проницаемости (жидкой или газообразной) к абсолютной (базовой) проницаемости поровой среды:

$$k_{r,w} = \frac{k_w}{k},$$

где k_w – проницаемость поровой среды для жидкой фазы;

k – абсолютная проницаемость поровой среды.

Для нахождения коэффициента относительной проницаемости для жидкой фазы можно использовать следующую зависимость [2, 3]:

$$k_{r,w} = \sqrt{S_{w,p}} \cdot \left(1 - \left(1 - S_{w,p}^{\frac{1}{m}} \right)^m \right)^2,$$

где $S_{w,p}$ – степень насыщения (заполнения) поровой среды цементного камня влагой;

m – параметр, определяемый экспериментально на основе изотерм сорбции исследуемого пористого материала, принятый по данным [3] равным 0,5.

Процесс фильтрации в поровой среде цементного камня может быть описан уравнениями неразрывности (непрерывности), выражающими закон сохранения массы в элементарном объеме поровой среды [2, 3]:

$$\text{– для жидкой фазы:} \quad \frac{\partial m_w}{\partial \tau} + \nabla \cdot (m_w \mathbf{v}_w) = -\frac{\partial m_{vap}}{\partial \tau} - \frac{\partial m_{hyd}}{\partial \tau} + \frac{\partial m_{w,ic}}{\partial \tau}; \quad (3)$$

$$\text{– для газообразной фазы:} \quad \frac{\partial m_g}{\partial \tau} + \nabla \cdot (m_g \mathbf{v}_g) = \frac{\partial m_{vap}}{\partial \tau}, \quad (4)$$

где $\frac{\partial m_{vap}}{\partial \tau}$ – интенсивность стока (источника), в результате процесса парообразования;

$\frac{\partial m_{hyd}}{\partial \tau}$ – интенсивность стока, в результате процесса гидратации;

$\frac{\partial m_{w,ic}}{\partial \tau}$ – интенсивность источника, в результате процесса внутреннего увлажнения;

m_g – количество газа в единице объема поровой среды цементного камня;

\mathbf{v}_g – вектор скорости потока газа.

При моделировании процесса фильтрации в поровой среде цементного камня приняты следующие предпосылки и допущения:

- цементный камень является изотропной средой;
- при твердении в изолированных условиях интенсивностью стока в результате процесса парообразования пренебрегают;
- в поровой среде в процессе гидратации находится свободная и вода, адсорбированная на стенках капилляров;

- потребление воды из поровой среды в процессе гидратации происходит за счет образования химически связанной воды и воды цементного геля;
- давлением газообразной фазы в поровой среде пренебрегают, поскольку по данным [2] в слабопроницаемых пористых материалах оно не превышает значение атмосферного давления;
- плотность химически связанной воды, воды цементного геля и воды, адсорбированной на стенках капилляров, принимают равной плотности обычной воды.

Основываясь на сформулированных выше предпосылках и допущениях уравнение неразрывности потока для жидкой фазы можно записать в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho_w (V_{w,c} + V_{w,ads})) + \nabla \cdot (m_w \mathbf{v}_w) = - \frac{\partial}{\partial \tau} (\rho_w (V_{w,ne} + V_{w,g})) + \frac{\partial}{\partial \tau} (\rho_w V_{w,ic}), \quad (5)$$

где $V_{w,c}$ – относительный объем свободной воды в цементном камне;

$V_{w,ads}$ – относительный объем адсорбированной воды в цементном камне;

$V_{w,g}$ – относительный объем воды цементного геля в цементном камне;

$V_{w,ne}$ – относительный объем химически связанной воды в цементном камне;

$V_{w,ic}$ – относительный объем дополнительной воды от внутреннего ухода в цементном камне;

Подставляя (2) в (5), получим следующее уравнение:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (V_{w,c} + V_{w,ads}) + \nabla \cdot \left[- \frac{k \mathbf{I} k_{r,w}}{\eta_w} \nabla p_w \right] = - \frac{\partial}{\partial \tau} (V_{w,ne} + V_{w,g}) + \frac{\partial V_{w,ic}}{\partial \tau}, \quad (6)$$

где \mathbf{I} – единичный тензор 2 ранга.

Для цементной системы, твердеющей в изолированных условиях, можно записать следующее уравнение баланса ее объемов воды в произвольный момент времени от начала твердения:

$$V_{w,0} = V_{w,c} + V_{w,ne} + V_{w,g} + V_{w,ads}, \quad (7)$$

где $V_{w,0}$ – начальный относительный объем воды (воды затворения) в цементном камне.

Исходя из уравнения (7) справедливо следующее выражение:

$$\frac{\partial V_{w,0}}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial \tau} (V_{w,c} + V_{w,ads} + V_{w,ne} + V_{w,g}) = 0. \quad (8)$$

Поскольку давлением газообразной фазы p_g в поровой среде пренебрегают, давление в поровой жидкости p_w принимают равным капиллярному давлению p_c , действующему в поровой среде:

$$p_w = p_g - p_c \approx -p_c. \quad (9)$$

Подставляя (8) и (9) в (6), получим окончательный вид уравнения, описывающего процесс фильтрации влаги в поровой среде цементного камня, твердеющего в изолированных условиях, с учетом дополнительной воды от внутреннего ухода:

$$\nabla \cdot \left[\frac{k \mathbf{I} k_{r,w}}{\eta_w} \nabla p_c \right] = \frac{\partial V_{w,ic}}{\partial \tau}. \quad (10)$$

Модель проницаемости цементного камня

Ключевым параметром в уравнении Дарси является коэффициент проницаемости поровой среды, характеризующий возможность фильтрации в ней потока жидкости или газа.

В данной работе коэффициент проницаемости поровой среды цементного камня определяют на основании модели предложенной в работе [4], основанной на теории эффективной среды:

$$\frac{(1 - \phi_c) \cdot (k_l - k)}{k_l + A \cdot k} + \frac{\phi_c \cdot (k_h - k)}{k_h + A \cdot k} = 0; \quad (11)$$

$$A = \frac{1 - \phi_{c,cr}}{\phi_{c,cr}}, \quad (12)$$

где ϕ_c – относительный объем капиллярной пористости в цементном камне;

k_l – коэффициент проницаемости низкопроницаемой фазы цементного камня;

k_h – коэффициент проницаемости высокопроницаемой фазы цементного камня;

$\phi_{c,cr}$ – наименьший относительный объем капиллярной пористости при котором наблюдается перколяция пор, принимаемый по данным [4] равным $0,18 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Коэффициент высокопроницаемой фазы цементного камня, к которой относят капиллярную пористость, определяют по следующей зависимости:

$$k_h = \frac{1,8 \cdot (1 - \phi_{c,cr})^2}{226} \cdot r_{p,c}^2, \quad (13)$$

где $r_{p,c}$ – радиус пор, соответствующий экстремальному значению на дифференциальной кривой распределения капиллярной пористости.

Коэффициент низкопроницаемой фазы цементного камня, к которой относят пористость цементного геля, определяют по следующей зависимости:

$$k_l = k_{CSH} \cdot \left(1 - \frac{1 - V_{hp,CSH}}{1 - V_{hp,CSH}^{per}} \right)^2, \quad (14)$$

где k_{CSH} – коэффициент проницаемости цементного геля, принимаемый по данным [4], равным $7 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2$;

$V_{hp,CSH}$ – относительный объем цементного геля в цементном камне;

$V_{hp,CSH}^{per}$ – относительный объем цементного геля в цементном камне в момент перколяции.

На рис. 1 представлен результат моделирования коэффициента проницаемости поровой среды цементного камня в процессе твердения, полученный по модели [4] при различных значениях водоцементного отношения (В/Ц).

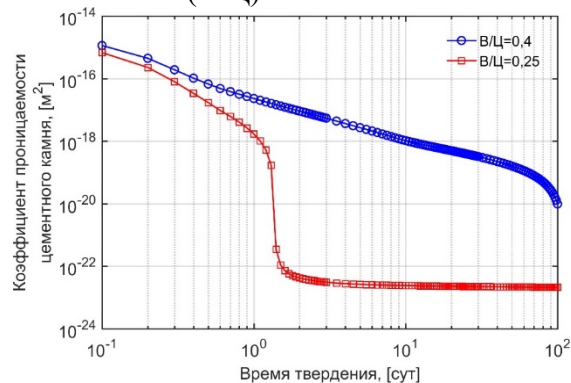


Рисунок 1 – Изменение коэффициента проницаемости цементного камня в процессе твердения (рассчитано по исходным данным [5])

Моделирование распределения воды в поровой среде цементного камня

Наиболее удобно оценивать распределение дополнительной воды в поровой среде цементного камня через изменение степени насыщения пор влагой $S_{w,p}$, в пределах предполагаемой (ожидаемой) глубины миграции дополнительной воды l_{mig} , путем решения дифференциального уравнения (10). Под степенью насыщения пор цементного камня влагой следует понимать отношение объемного количества жидкой фазы в его поровой среде (свободной и адсорбированной воды, а также дополнительной воды, полученной в результате внутреннего увлажнения) к общему объему пор.

Расчетная область, для которой находят решение дифференциального уравнения (10), представляет собой трехмерное пространство Ω , ограниченное двумя сферами радиусами $r_1 = M[r_{lwa}]$ и $r_2 = M[r_{lwa}] + l_{mig}$. Здесь $M[r_{lwa}]$ обозначает математическое ожидание величины радиуса гранул пористого заполнителя. Данная пространственная область Ω имитирует объ-

ем цементной матрицы, располагаемый вокруг гранулы пористого заполнителя в пределах предполагаемой глубины миграции дополнительной воды l_{mig} .

Поскольку: (а) рассматриваемая пространственная область Ω является осесимметричной и (б) цементный камень является изотропной средой, это позволяет рассмотреть решение дифференциального уравнения (10) в двумерной расчетной области (рис. 2).

Для построения двумерной расчетной области используют исходные данные по предполагаемой глубине миграции дополнительной воды l_{mig} и математическому ожиданию величины радиуса гранул пористого заполнителя $M[r_{lwa}]$.

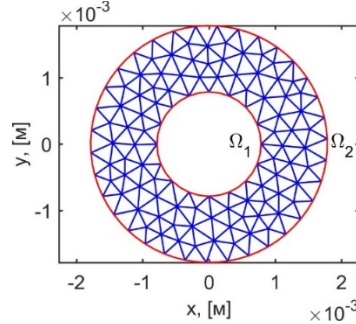


Рисунок 2 – Двухмерная расчетная область решения дифференциального уравнения (10) с сеткой метода конечных элементов для фракции пористого заполнителя 1,18..2,36 мм и предполагаемой глубине миграции влаги 1 мм

(Ω_1 , Ω_2 –внутренняя и внешняя границы расчетной области)

В двумерной области дифференциальное уравнение (10) можно представить в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(C \frac{\partial S_{w,p}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(C \frac{\partial S_{w,p}}{\partial y} \right) = f; \quad C = \frac{k \cdot k_{r,w}}{\eta_w} \cdot \frac{\partial p_c}{\partial S_{w,p}}; \quad f = \frac{\partial V_{w,ic}}{\partial \tau} \quad (15)$$

Представляя исследуемое время твердения в виде равномерной временной сетки $\tau_{i+1} = \tau_i + \Delta\tau$ (где $\Delta\tau$ – временной шаг, i – произвольный узел сетки), для дифференциального уравнения (15) принята следующая схема аппроксимации:

$$\nabla \cdot \left[C_i \nabla (S_{w,p})_{i+1} \right] = f_i, \quad (16)$$

где $C_i = C(\tau_i)$ и $f_i = f(\tau_i)$, определяемые по (15).

Для нахождения решения дифференциального уравнения (16) в двумерной расчетной области применяют метод конечных элементов, граничным условием при решении которого является условие Дирихле:

$$(S_{w,p})_{i+1} \Big|_{\Omega_1} = S_{w,p}(\tau_{i+1}), \quad (17)$$

где Ω_1 – внутренняя граница двумерной расчетной области.

В качестве фактического значения глубины миграции влаги принимают значение, при котором степень насыщения пор влагой на внутренней и внешней границе расчетной области на протяжении всего исследуемого временного интервала, будет отличаться не более чем на заданную величину. В практических расчетах, значение этой величины рекомендуется принимать равным не более 10%.

На рис. 3 представлен результат моделирования степени насыщения пор цементного камня влагой в процессе твердения, полученный при решении дифференциального уравнения (15) в двумерной расчетной области для фракции пористого заполнителя 1,18..2,36 мм и предполагаемой глубине миграции влаги 1 мм.

Необходимые параметры $S_{w,p}$, p_c , $V_{w,ic}$ и др. для определения коэффициентов дифференциального уравнения (15) рассчитаны по методике, приведенной в работе [6].

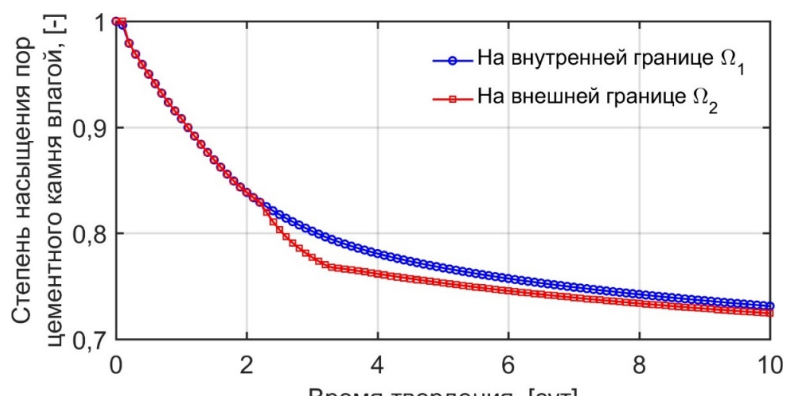


Рисунок 3 – Изменение степени насыщения пор влагой в цементном камне с учетом внутреннего ухода в процессе твердения в изолированных условиях (рассчитано по исходным данным [7])

Заключение

Приведены основные положения предлагаемой расчетной модели, позволяющей оценивать распределение воды в поровой среде цементного камня, твердеющего в изолированных условиях с учетом внутреннего ухода с насыщенным водой пористым заполнителем.

Основным фактором, оказывающим существенное влияние на глубину миграции дополнительной воды в поровую среду цементного камня, является ее абсолютная проницаемость, которая в свою очередь, исходя из результатов численного моделирования, зависит от водоцементного отношения.

Значительное снижение абсолютной проницаемости поровой среды цементного камня, наблюдаемое при низких значениях водоцементного отношения в первые сутки твердения, обуславливает существенное различие в значениях степени насыщения пор влагой на внешней и внутренней границе двумерной расчетной области. Вместе с тем, как видно из результатов моделирования, после резкого уменьшения абсолютной проницаемости при низких значениях водоцементного отношения в начальный период твердения, в дальнейшем ее изменение происходит не столь интенсивно. По-видимому, этот факт, а также увеличение капиллярного давления в процессе твердения, обусловленное процессом «самовысыхания» цементного камня объясняет, что в последствие значение степени насыщения пор влагой на внешней границе расчетной области постепенно приближается к значению на внутренней границе.

Таким образом, исходя из результатов моделирования, первые сутки твердения цементного камня являются ключевым моментом времени при определении глубины миграции дополнительной воды.

Список источников

1. Report on Internally Cured Concrete Using Prewetted Absorptive Light-weight Aggregate: ACI Committee 308/ American Concrete Institute. – ACI, 2013. – 12 P. – ACI (308-213) R-13.
2. Coussy, O. Poromechanics / O. Coussy. – Chichester: John Wiley & Sons, 2004. – 312 P.
3. Coussy, O. The equivalent pore pressure and the swelling and shrinkage of cement-based materials / O. Coussy, P. Dangla, T. Lassabatère, V. Baroghel-Bouny // Materials and Structures. – 2004. – Vol. 37, iss. 1. – P. 15-20.
4. Cui L. Permeability and pore structure of OPC paste / L. Cui, J.H. Cahyadi // Cement and Concrete Research. – 2001. – Vol. 31, iss. 2. – P. 277-282.
5. Tazawa, E. Prediction Model for Autogenous shrinkage of concrete with different type of cement / E. Tazawa, S. Miyazawa // Self-Desiccation and Its Importance in Concrete Technology: Proceedings 4th International Seminar, Gaithersburg, 20 June 2005 / National Institute of Standards and Technology; ed.: B. Persson, D. Bentz, L. Nilsson. – Gaithersburg, 2005. – P. 125-139.
6. Кравченко, В.В. Моделирование параметров состояния поровой среды цементного камня в рамках концепции «внутреннего увлажнения» / В.В. Кравченко // Вестник ПГУ. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2017 г. – №8, с. 28-41.
7. Lura, P. Autogenous Deformation and Internal Curing of Concrete / P. Lura. – Delft: Delft University Press, 2003. – 180 P.

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПРОДУКТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Лазаренко О.В., Шпилевская Н.Л.

Введение. В современных условиях одним из направлений обеспечения высокого качества строительства является применение самоуплотняющегося бетона (СУБ). СУБ - бетон, свойства которого определяются безвибрационным уплотнением бетонной смеси, способной растекаться, полностью заполнять опалубочную полость и уплотняться под собственным весом [1]. При этом бетонная смесь заполняет пространство между арматурными стержнями с любой плотностью их расположения, закладными деталями, обеспечивая создание монолитных и сборных железобетонных конструкций высокой прочности, плотности, водонепроницаемости, морозостойкости.

Впервые самоуплотняющийся бетон начали применять в Японии в начале 90-х годов прошлого столетия с целью исключения ухудшения прочностных характеристик железобетонных конструкций, вызванных некачественным уплотнением бетонной смеси и продолжают до настоящего времени.

Благодаря уникальным свойствам самоуплотняющийся бетон начал активно применяться в Западной Европе. В 2003 году европейские организации ВІВМ, СЕМВUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARC разработали документ «Европейские нормы для разжиженной самоуплотняющейся смеси», в котором регламентированы технические характеристики и потребительские качества конструкций, изготовленных из самоуплотняющегося бетона; установлены требования к исходным материалам и составу бетона, представлены рекомендации по его использованию [2].

В результате исследований в области самоуплотняющегося бетона в Беларуси появились ТКП 45-5.03-266 «Изделия и конструкции из самоуплотняющегося бетона. Правила изготовления» [1] и СТБ EN 206 «Бетон. Требования, показатели, изготовление и соответствие» [3], в которых представлены требования к самоуплотняющемуся бетону, указания по назначению технологических режимов производства бетонных работ, методика проектирования состава бетона.

Основные компоненты самоуплотняющейся бетонной смеси: портландцемент, крупный и мелкий заполнители (расход щебня не превышает расход песка), вода затворения и высокоэффективные комплексные химические разжижители - гиперпластификаторы на основе полиакрилата и поликарбоксилата, обеспечивающий высокую подвижность СУБС.

Отличительными свойствами самоуплотняющейся бетонной смеси (СУБС) по сравнению с литыми являются отсутствие водоотделения и расслоения при ее высокой удобоукладываемости, удаление вовлеченного воздуха при самоуплотнении. Такой эффект достигается за счет ввода в бетонную смесь добавки-стабилизатора или тонкого инертного или активного наполнителя, сопоставимого по дисперсности с вяжущим. Многочисленные исследования показывают, что более полно обеспечивает заданные свойства СУБС введение тонкодисперсных минеральных наполнителей, на основе карбоната кальция и карбоната магния. Они имеют преимущества перед органическими добавками-стабилизаторами: кроме улучшения реологических свойств бетонных смесей, повышаются физико-механические и эксплуатационные характеристики бетона, в то время как стабилизаторы оказывают только стабилизирующее действие по водоотделению и расслоению СУБС. При этом приоритет отдается активным минеральным добавкам, изготавливаемым по безопасным технологиям с использованием местных сырьевых ресурсов, либо вторичным продуктам и техногенным отходам различных отраслей промышленности.

Рассматривая группу вторичных карбонатных продуктов различных предприятий Республики Беларусь выявлено, что значительный объем составляет минеральный шлам химической водоочистки (ШХВО) предприятий энергетического комплекса - теплоэнергоцентралей, который хранят в шламонакопителях, на промышленных свалках, закачивают в грунт. Проблема утилизации шлама в Беларуси до настоящего времени полностью не решена [4]. Имеющиеся исследования по использованию ШХВО показывают, что его применяют в строительной индустрии в качестве добавки в битумные композиции и самоуплотняющейся

песчаный бетон [5]; наполнителя в красочные составы и кладочные растворы; для укрепления грунтов; изготовления низкотемпературных минеральных вяжущих [4]. Возможность применения ШХВО в качестве дисперсного наполнителя вяжущей композиции многокомпонентного самоуплотняющегося бетона изучена недостаточно.

Основная часть. Около половины всего объема шлама в республике образуется на предприятиях энергетического комплекса Витебской области, при этом основной объем шлама – 3 тыс. т. на Новополоцкой ТЭЦ. Шлам химической водоочистки имеет пастообразное состояние и содержит карбонат кальция (CaCO_3) в количестве 63,7 - 69,8 % и основной карбонат магния ($3\text{MgCO}\cdot\text{MgOH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – 6,4 - 10 % [6].

Анализ результатов научных исследований, связанных с использованием шлама водоочистки ТЭЦ, показал, что введение в состав кладочных растворов наполнителя (ШХВО) ТЭЦ способствуют увеличению объема прочных и устойчивых низкоосновных гидросиликатов кальция, в цементной матрице снижается концентрация напряжений [6].

В работе [7] исследовано влияние сухого шлама водоочистки при совместном вводе с поликарбоксилатным пластификатором Melflux на свойства цементного камня. Определены оптимальные дозировки шлама - 2,5-7,5 % - 0,6 %, при которых прочность цементного камня в возрасте 7 суток твердения на 12 % выше, чем у бездобавочного.

В исследовании [5] выявлено, что применение шлама водоочистки в качестве наполнителя в песчаный СУБ эффективно при совместном вводе 15% шлама и 5% микрокремнезема. В изобретении [8] описано использование шламовых отходов ТЭЦ без дополнительной обработки в качестве демпфирующей добавки в бетонную смесь взамен 2,5 - 3,0% кварцевого песка, при этом снизилась плотность и водоотделение бетонной смеси, себестоимость продукции, повысилась морозостойкость бетона.

Анализ результатов исследований по использованию в цементных композициях в качестве наполнителя карбонатосодержащего шлама химической водоочистки ТЭЦ показал, что он может быть использован при изготовлении самоуплотняющегося бетона.

При разработке состава самоуплотняющегося бетона были проведены исследования по определению влияния содержания ШХВО и гиперпластификатора на физико-механические свойства цементного теста и камня, основного составляющего тяжелого бетона.

Для проведения исследований применялись материалы: портландцемент марки ПЦ500-Д0 производства ОАО «Красносельскстройматериалы»; мелкий заполнитель кварцевый песок карьера «Боровое»: модуль крупности $M_{кр}$ - 2,5; крупный заполнитель гранитный щебень РУПП «Гранит» с размером зерен от 5 до 20 мм; дисперсный наполнитель карбонатосодержащий шлам химической водоочистки теплоэлектроцентралей [9]. Удельная поверхность $S_{уд.д.н.}$ - 1240 $\text{м}^2/\text{кг}$; истинная плотность $\rho_{дн}$ - 2510 $\text{кг}/\text{м}^3$, насыпная плотность 870 $\text{кг}/\text{м}^3$; химическая добавка – гиперпластификатор Стахемент – 2000 - М Ж30.

Для получения наполнителя шлам высушивали, мололи, просеивали. Максимальный размер частиц наполнителя составил 80 мкм. Определены нормальная густота цементного теста, прочность на сжатие цементного камня на образцах-кубиках размером 20 x 20 x 20 мм нормального твердения. Исследованы свойства 5 составов. 1 - без наполнителя, 2ч5 с вяжущей композицией: взамен части цемента вводили 10, 20, 30, 40 процентов наполнителя. Результаты исследований приведены на рисунках 1, 2, 3.

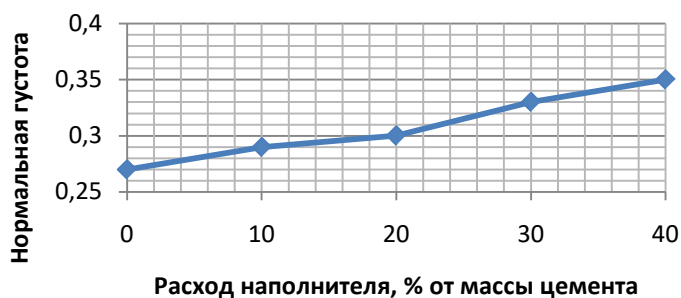


Рисунок 1 – Изменение нормальной густоты цементного теста в зависимости от расхода наполнителя

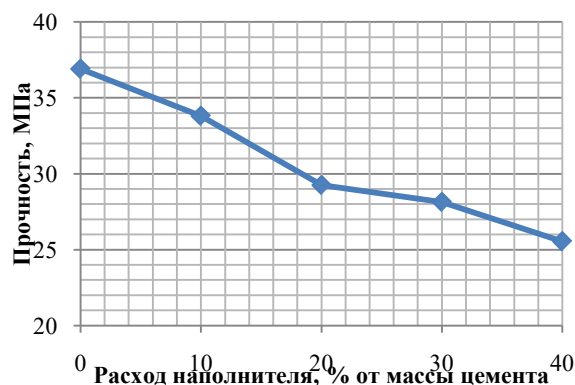


Рисунок 2 – Изменение прочности цементного камня в возрасте 7 суток в зависимости от расхода наполнителя

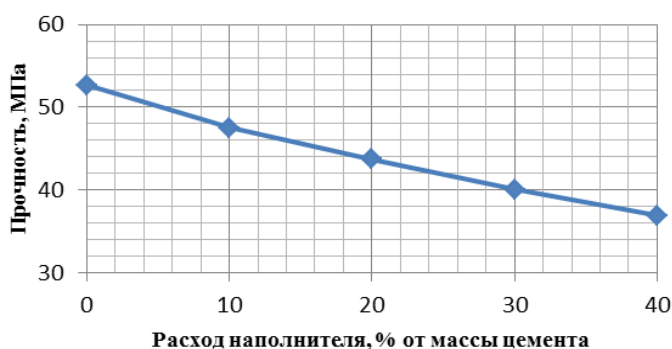


Рисунок 3 – Изменение прочности цементного камня в возрасте 28 суток в зависимости от расхода наполнителя

Анализ полученных результатов показал, что увеличение дозировки наполнителя приводит к росту показателя нормальной плотности вследствие увеличения удельной поверхности вяжущей композиции. Прочность цементного камня составов 2 ч 5, содержащих наполнитель в количестве 20 ч 40 % от массы цемента, в возрасте 28 суток снизилась на 11, 18, 24, 31%. Для дальнейших исследований был принят состав № 3 с вводом 20% ШХВО взамен части цемента в меньшей степени снижающий прочность цементного камня.

Исследования влияния совместного ввода ШХВО и гиперпластификатора Стахемент-2000-М Ж30 на кинетику набора прочности цементного камня проводили с дозировкой гиперпластификатора в пределах 0,25 ч 0,35%. Прочность на сжатие цементного камня оценивали на образцах-кубиках размером 20 х 20 х 20 мм нормального твердения, изготовленных из цементного теста с одинаковым относительным водосодержанием равным 1. Исследованы свойства 5 составов. 1. К - контрольный; 2. Ст 0,3 -0.3% гиперпластификатора; 3. Ст 0,25+Ш -0.25% гиперпластификатора; 4. Ст 0,3+Ш – гиперпластификатора; 5. Ст 0,35+Ш. Результаты исследований приведены на рисунке 4.

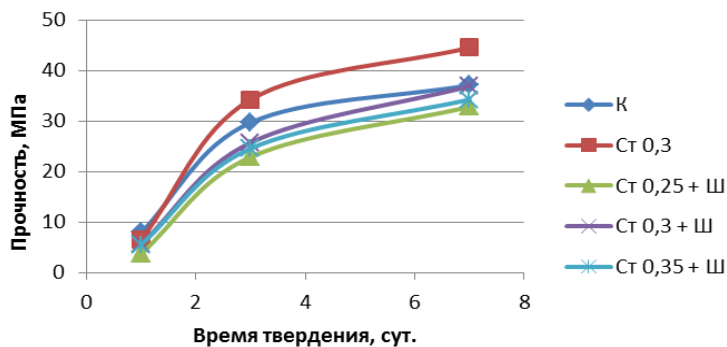


Рисунок 4 – Кинетика набора прочности цементного камня при введении ШХВО и гиперпластификатора

Полученные результаты позволили определить оптимальную дозировку гиперпластификатора - 0,3 %, процентное содержание ШХВО - 20% взамен части вводимого цемента.

Расчетное проектирование состава и свойств самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона проводили согласно ТКП 45-5.03-266 [1]. Предварительно определены значения функции $\alpha_{дн}$, определяющей изменение прочности бетона с дисперсным наполнителем (ШХВО) по отношению к прочности контрольного состава без наполнителя. Расчет составов СУБ проводился в два этапа. На первом этапе рассчитаны три приближенных состава бетона с процентным содержанием шлама в вяжущей композиции - 20, 23, 25%, гиперпластификатора Стахемент – 2000 - М Ж30- 0,3 % от массы вяжущей композиции. На втором этапе по приближенным значениям содержания компонентов СУБ определены структурные характеристики бетона. Расчетные составы и свойства СУБС и СУБ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные составы и свойства СУБС и СУБ

| № состава | Расход компонентов, кг/м ³ | | | | | |
|------------------|--|-------------------------------|--------------------------|---|-----------------|--------|
| | цемент | дисперсный наполнитель (ШХВО) | Стахемент – 2000 - М Ж30 | вода | кварцевый песок | щебень |
| 1- Ст 0,3+ 20% Ш | 376 | 94 | 1,41 | 207 | 843 | 826 |
| 2- Ст 0,3+ 23% Ш | 379 | 109 | 1,42 | 206 | 840 | 823 |
| 3- Ст 0,3+ 25% Ш | 381 | 119 | 1,43 | 204 | 836 | 819 |
| | Расчетное значение диаметра растекания конуса, РКр, см | | | Расчетная прочность на сжатие в возрасте 28 суток, $f_{ccube 28}$, МПа | | |
| 1 | 44 | | | 34,8 | | |
| 2 | 46 | | | 32,1 | | |
| 3 | 47 | | | 30,8 | | |

Анализ полученных расчетных значений компонентов и структурных характеристик СУБ выявил, что полученные значения относительной характеристики пластических свойств теста по трем составам больше требуемого значения характеристики относительного водосодержания теста в пределе связности СУБС, установленного ТКП 4 5- 5.03-266. Это потребовало увеличения содержания вяжущей композиции и, соответственно, уменьшения значения эффективного водовяжущего отношения бетона, корректирования расчетных составов самоуплотняющегося бетона. Откорректированные расчетные составы и свойства СУБС и СУБ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Откорректированные расчетные составы и свойства СУБС и СУБ

| № состава | Расход компонентов, кг/м ³ | | | | | |
|------------------|--|-------------------------------|--------------------------|---|-----------------|--------|
| | цемент | дисперсный наполнитель (ШХВО) | Стахемент – 2000 - М Ж30 | вода | кварцевый песок | щебень |
| 1- Ст 0,3+ 20% Ш | 400 | 100 | 1,50 | 220 | 842 | 826 |
| 2- Ст 0,3+ 23% Ш | 389 | 115 | 1,51 | 219 | 840 | 823 |
| 3- Ст 0,3+ 25% Ш | 382 | 125 | 1,52 | 216 | 836 | 819 |
| | Расчетное значение диаметра растекания конуса, РКр, см | | | Расчетная прочность на сжатие в возрасте 28 суток, $f_{ccube 28}$, МПа | | |
| 1 | 64 | | | 42 | | |
| 2 | 67 | | | 40 | | |
| 3 | 69 | | | 39 | | |

Для экспериментальной проверки расчетных составов и свойств СУБС и СУБ были изготовлены бетонные смеси составов 1ч3 (Таблица 2). Измерение величины подвижности бетонной смеси, РК, см, показало, что в соответствии с ТКП 45-5.03-266, марка первого состава СУБС по удобоукладываемости – Р - 2, второго и третьего- Р - 3, видимых расслоений бетонной смеси на конечной стадии растекания конуса не наблюдалось.

Прочность бетона на сжатие в определялась возрасте 7 и 28 суток нормального твердения и термовлажностной обработки при нормальном давлении по режиму: 2 - 3 – 8 – 2 ч.

Анализ полученных значений прочности показывает, что у трех составов СУБ достаточная для проектирования большинства конструктивных элементов (стены, колонны и др.) прочность на сжатие - класс бетона по прочности на сжатие $C^{30}/_{37}$.

Экспериментальные значения физико-механических свойств самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Экспериментальные значения физико-механических свойств самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона

| № состава | Показатель растекания конуса РК, см | Прочность на сжатие, МПа (7 суток) | | Прочность на сжатие, МПа (28 суток) |
|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|------|-------------------------------------|
| | | после ТВО | НВУ | НВУ |
| 1 | 64 | 25,7 | 30 | 44 |
| 2 | 67 | 23,6 | 28 | 41 |
| 3 | 69 | 23,4 | 25,8 | 37 |

Полученные значения удобоукладываемости СУБС и прочности СУБ сопоставимы с результатами других исследований: с применением в качестве наполнителя тонкодисперсного доломита [10], молотого известняка [11], мелкоизмельченного карбоната кальция - Belocard [12] (таблица 4, рисунок 5).

Таблица 4 – Сопоставимость полученных свойств СУБС и СУБ с данными других исследований

| Расход компонентов, кг/м ³ | По данным Magarotto [17] | По данным И.Пайерс [16] | По данным Котова [15] | Полученные авторами |
|--|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Цемент | 395 | 390 | 420 | 382 |
| Молотый известняк | 118 | - | - | - |
| Наполнитель Belocard | - | 110 | - | - |
| Тонкодисперсный доломит | - | - | 140 | - |
| ШХВО | - | - | - | 125 |
| Вода | 197 | 200 | 242 | 216 |
| Песок | 914 | 910 | 750 | 836 |
| Щебень | 748 | 762 | 740 | 819 |
| Суперпластификатор | 7.1 | 7.3 | - | - |
| Гиперпластификатор | - | - | 1,68 | 1,52 |
| Водоцементное отношение | 0,5 | 0,5 | 0,58 | 0,57 |
| Растекание конуса, см | 66 | 73 | 59 | 69 |
| Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, МПа | 32 | 31 | 39,9 | 37 |

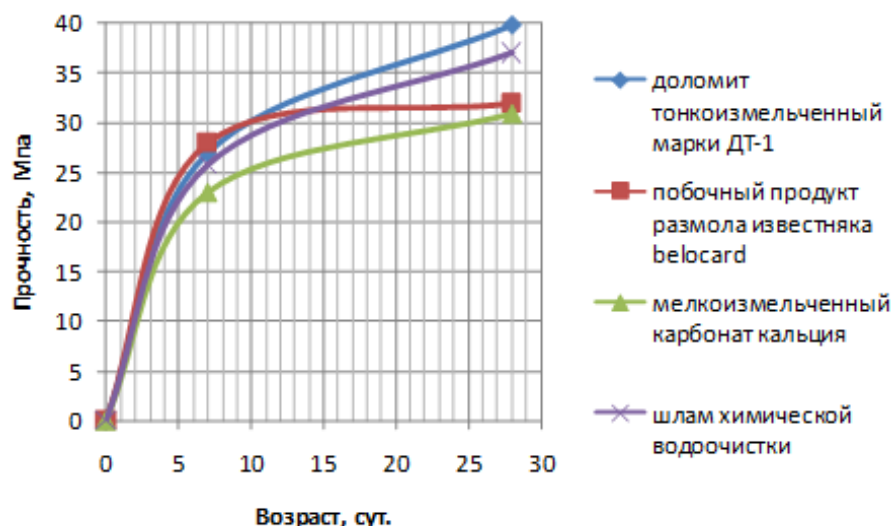


Рисунок 5 – Прочность СУБ с использованием различных активных карбонатосодержащих наполнителей

Выводы. Показано, что шлам химической водоочистки (ШХВО) - вторичный продукт ТЭЦ, может эффективно применяться в качестве наполнителя композиционного вяжущего самоуплотняющегося бетона при совместном вводе с гиперпластификатором. В результате расчетно-экспериментального проектирования состава СУБС получены составы с марки бетонной смеси по удобоукладываемости P - 2, P - 3, рекомендуемые для применения при возведении большинства строительных конструкций от слабо до густо армированных, с классом бетона по прочности на сжатие C30/37. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании составов СУБ не только для объектов промышленного и гражданского строительства но, и при дальнейшем выполнении исследований в данной области технологии бетонов, в дорожном строительстве.

Список источников

1. Бетонные и железобетонные изделия и конструкции из самоуплотняющегося бетона. Правила изготовления. ТКП 45-5.03-266-2012. – Введ. 20.08.12. - Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2013. – 28 с.
2. Европейский нормативный документ по самоуплотняющемуся бетону: DAfStb-RichtlinieSelbsverdichtenderBeton (SVB-Richtlinie). Ausgabe November 2003.
3. Бетон. Требования, показатели, изготовление и соответствие: СТБ EN 206-2016. - Введ. 29.12.2016. – Минск: Госстандарт, – 2016. – 108с.
4. Бакатович, А.А. Кладочные растворы с пластифицирующей добавкой на основе шлама водоочистки: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / А.А. Бакатович. – Новополоцк, 2002. – 157 с.
5. Авксентьев, В.И. Шлам химической водоочистки - эффективный наполнитель в самоуплотняющихся песчаных бетонах /Авксентьев В.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г.// Известия КГАСУ.-2015. – № 1.- С. 119-126.
6. Вишнякова, Ю.В. Строительные растворы с карбонатосодержащим наполнителем из вторичного продукта водоподготовки: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ю.В.Вишнякова. – Новополоцк, 2014. – 166 с.
7. Авксентьев, В.И. Влияние шлама химической водоочистки в комплексе с суперпластификатором на физико-механические свойства цементного камня /Авксентьев В.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г.// Известия КГАСУ.-2014.-№ 4.- С. 249-254.
8. Бетонная смесь: патент № 2258052. Чупшев В. Б.. [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://bd.patent.su/2258000-2258999/pat/servlet/servletd2f6.html>- Дата доступа: 12.10.2015.
9. Наполнитель карбонатосодержащий. Технические условия. ТУ ВУ 300220696.050-2010. – Введ. 04.03.2014.- Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь: РУП «Стройтехнорм», 2014. – 12 с.
10. Котов, Д.С. Физико-механические свойства тяжелого самоуплотняющегося бетона: Автореферат дисс... канд. техн. наук: 05.23.05. – Минск, 2013. - 18 с.
11. Пайерс, И. Самоуплотняющийся бетон с мелкоизмельченным карбонатом кальция/ И. Пайерс, Х. Барбара, Б. Барраган, Г. Рамос//CPI – Международное бетонное производство.- 2012. – № 1. – С. 34-38.
12. Magarotto, R. Innovative Admixtures: A Key component for a Sustainable Concrete Industry/R. Magarotto, Roncero J//CPI - Concrete Plant International. – 2008. – № 4. – P.72-76.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЛЕВОГО СОСТАВА ВНЕШНЕЙ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ НА СИЛИКАТНЫЕ БЕТОНЫ

Левчук Н.В.

Введение. В последние десятилетия развитие таких отраслей промышленности, как нефтеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная, химическая и др., внедрение новых химических и биологических технологий в производственные процессы в зарубежной и отечественной промышленности, приводят к росту числа предприятий с агрессивными технологическими средами. Такое увеличение уровня производительности способствует существенному изменению состава атмосферного воздуха, природных, промышленных сточных вод и окружающей среды в целом.

Состав атмосферного воздуха характеризуется повышенным содержанием кислотных оксидов (CO_2 , SO_2 , SO_3 , H_2S т.д.), усиливающих агрессивность окружающей среды по отношению к бетонам и арматуре железобетонных конструкций. Степень агрессивного воздействия, а также характер коррозионных повреждений зависит не только от химической природы - состава агрессивной среды, но и от влажности газовоздушной среды, температуры окружающей среды, условий контакта и других факторов [1]. Содержащийся в атмосфере углекислый газ, во влажной среде реагирует с гидратными соединениями бетонов, в том числе и силикатных, ухудшая эксплуатационные свойства материала, железобетонных конструкций. Наиболее химически активным в этих реакциях является гидроксид кальция, способствующий образованию карбонатных и гидрокарбонатных новообразований в поровом пространстве бетона.

Атмосферные осадки содержат небольшое количество сульфат-ионов, хлорид-ионов, а также растворенного в воде углекислого газа, однако в городских условиях, где содержание дымовых и выхлопных газов больше, значение рН атмосферных вод снижается до 5,5 [2]. Слабокислая среда атмосферных осадков, попадающих на поверхность бетонных конструкций, может вызывать коррозионные повреждения бетона за счет химического взаимодействия компонентов пористых бетонов с агрессивными ионами атмосферных вод с образованием растворимых продуктов коррозии или с выделением труднорастворимых соединений, снижающих прочностные характеристики самого бетона.

Существенное влияние на коррозионную стойкость силикатных бетонов оказывает фактический состав природных или промышленных сред, в которых основную роль агрессивных ионов играют карбонат- или гидрокарбонат-ионы, а также сульфат-ионы. Так, установлено, что на степень агрессивности сульфатных природных вод значительное влияние оказывает содержание в них временной жесткости (бикарбонатной щелочности). Влияние содержания бикарбонатных ионов (HCO_3^-) проявляется в уменьшении интенсивности процесса сульфатной коррозии [3].

При рН больше 8,5 количество углекислоты мало и практически малоощутимо. Углекислота является малорастворимым слабым электролитом, поэтому в воде устанавливается равновесие между ионами HCO_3^- и молекулами CO_2 . Если количество CO_2 превышает равновесие, то он способен реагировать с цементным камнем с образованием новых количеств CaCO_3 , т.е. такая углекислота будет агрессивной по отношению к бетону. Увеличенное количество CO_2 сверх равновесного создает условия для растворения защитной карбонатной пленки на поверхности бетонных композитов, а растворенный в воде углекислый газ приобретает агрессивные свойства. В этом случае последовательность разрушения бетона по В.М. Москвину протекает следующим образом:

Зона I – «зона разрушения» (насыщенная бикарбонатом вода взаимодействуя с гидроксидом кальция цементного камня образует малорастворимый осадок карбоната кальция);

Зона II – «зона уплотнения» (в этой зоне происходит сужение каналов, по которым движется вода), далее фильтрующая насыщенная углекислотой вода растворяет цементный камень по механизму коррозии первого вида, т.е. начинается

Зона III – «зона выщелачивания».

Основная часть. В зависимости от вида извести и условий, в которых происходит ее твердение, различают три типа твердения: карбонатное, гидратное и гидросиликатное. Нас интересует гидросиликатное твердение. Прочность автоклавных изделий формируется в результате взаимодействия двух процессов:

- структурообразования, обусловленного синтезом гидросиликатов кальция;
- деструктивного, обусловленного внутренними напряжениями.

Образование различных форм гидросиликатов обуславливает прочностные характеристики известково-песчаных изделий:

- гидросиликаты кальция $(0.8-1.5)CaO \cdot SiO_2 \cdot (0,5-2)H_2O$ обеспечивают получение бетонов высокой прочности

- тоберморит и особенно гидросиликат $(1.8-2.4)CaO \cdot SiO_2 \cdot (1-1,5)H_2O$ характеризуется менее выраженными вяжущими свойствами;

- с другой стороны, гидросиликаты состава $(0.8-1.5)CaO \cdot SiO_2 \cdot (0,5-2)H_2O$

и тоберморит, отличаются пониженной морозостойкостью и повышенной склонностью к усадке при высыхании;

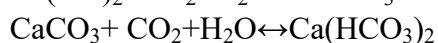
- наличие в бетонах гидросиликатов состава $(1.8-2.4)CaO \cdot SiO_2 \cdot (1-1,5)H_2O$ способствует повышению морозостойкости и стойкости против действия углекислоты воздуха.

Строительные материалы, и в первую очередь их поверхности, в течении длительной эксплуатации разрушаются в основном в результате двух видов воздействия: коррозионного, связанного с влиянием на материал внешней, агрессивной среды, и эрозионного, вызываемого механическим воздействием.

Практика эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций показывает, что воды, содержащие агрессивную углекислоту в количестве более 300 мг/л сильно агрессивны. При исследовании влияния углекислотной коррозии следует учитывать следующие теоретические положения:

- процесс углекислотной коррозии бетона в не напорных конструкциях идет на поверхности раздела фаз «раствор CO_2 - бетон», т. е. является гетерогенным процессом;

- механизм углекислотной коррозии цементного камня бетона определяется двумя взаимосвязанными процессами: образованием карбоната кальция и растворением его по реакциям:



Коррозия цементного камня, также как и в газосиликатном бетоне, в среде, содержащей агрессивную углекислоту, идет с разложением всех минералов. В обратимой реакции следует различать углекислоту связанную в гидрокарбонате $Ca(HCO_3)_2$. Появление в растворе «сверхравновесного» количества углекислоты вызывает растворение новых порций $CaCO_3$. Эта избыточная кислота называется агрессивной. Углекислотная коррозия действует на бетон тем слабее, чем больше в водном растворе гидрокарбонатов кальция и магния.

Необходимо учитывать влияние на строительные материалы и хлоридов, содержание которых в окружающей среде не велико, однако, именно хлориды являются одними из наиболее агрессивных компонентов по отношению к строительным материалам. Хлориды способны образовывать такие кальцевые соединения как гидрофилит, сингарит, антрацит и другие. Эти соли, при наличии влаги могут растворяться и при последующем высыхании вновь образовывать кристаллы. В таких процессах увеличивается объем кристаллов, что создает кристаллизационное давление [4] и приводит к разрушению материала.

Основными эксплуатационными характеристиками силикатных бетонов являются высокая коррозионная стойкость, термостойкость, устойчивость к температурным и атмосферным воздействиям, долговечность. Силикатные блоки обладают термоизоляционными свойствами благодаря своей пористости [1]. Однако, если поры наполнены водой, силикатные блоки теряют свойства теплоизолятора. Уже при поглощении влаги на 4% наполовину уменьшается эффективность теплоизоляции.

В связи с существующей проблемой разрушения силикатных бетонов при воздействии агрессивной окружающей среды мы предлагаем методику и проводим серию экспериментов, связанных с исследованием содержания ионов кальция (Ca^{2+}) в водных вытяжках из образцов силикатных блоков, выдержанных в среде с содержанием различной концентрации ионов хлора. При этом исследовалось содержание кальция в растворах соли NaCl, в которых выдерживались образцы в течении 1, 3, 7, 14 и т.д. суток. процесс углекислотной коррозии бетона можно исследовать по изменению концентрации Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- ,

Углекислота может присутствовать в растворе в виде трех форм:

- 1 Свободная углекислота, которая образуется при взаимодействии CO_2 и H_2O ;
2. Углекислота в виде HCO_3^- ;
3. Углекислота в виде CO_3^{2-} .

Все три формы могут переходить из одной в другую в зависимости от **pH** среды.

Исследования проводятся по следующей методике:

1. Первую серию образцов массой 100 грамм (15 шт.) погружаем в 1 литр дистиллированной воды.

2. Вторую серию образцов массой 100 грамм (15 шт.) погружаем в 1 литр 0,1н раствора NaCl (5,85 г-экв/сут).

3. Третью серию образцов массой 100 грамм (15 шт.) погружаем в 1 литр 0,25н раствора NaCl (14,6 г-экв/сут).

4. Через сутки достаём образцы и высушиваем в течении следующих суток в обычных условиях при комнатной температуре. Затем образец растираем в керамической ступке до порошкообразной массы и готовим вытяжку при соотношении 1г молотого порошка на 100 мл дистиллированной воды. Вышеописанный метод повторяем через трое суток, семь суток и так далее.

5. В воде и растворах солей после каждых суток замачивания образцов определяем содержание ионов кальция, pH, щелочность. Те же самые показатели определяются в вытяжках образцов силикатного бетона. По изменению концентрации содержания кальция в водных растворах и вытяжках определяем зависимость воздействия внешних факторов, в частности, солевого воздействия, на устойчивость образцов силикатного камня.

Предварительные результаты исследований представлены в таблицах.

Таблица 1 - Дистиллированная вода с контрольными образцами

| Показатели | 1 сутки | 3 сутки | 7 сутки | 21 сутки |
|--------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Ca^{2+}/CaO мг/л | 26,05 | 24,54 | 23.51 | 23.00 |
| pH | 9,48 | 9,06 | 9,03 | - |

Таблица 2 – 0,1н раствор NaCl, в который погружались образцы

| Показатели | 1 сутки | 3 сутки | 7 сутки | 21 сутки |
|--------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Ca^{2+}/CaO мг/л | 130,26 | 100,20 | 66,13 | 49,82 |
| pH | 9,80 | 9,91 | 8,65 | - |

Таблица 3 - 0,25н раствор NaCl, в который погружались образцы

| Показатели | 1 сутки | 3 сутки | 7 сутки | 21 сутки |
|----------------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Ca ²⁺ /CaO мг/л | 155,75 | 126,25 | 82,16 | 80,00 |
| pH | 9,81 | 8,21 | 8,59 | - |

Выводы. 1. Практически у всех представленных образцов, на основании проведенных исследований вытяжек, проявляются общие тенденции, характеризующие влияние хлорида натрия, на процессы деструкции строительного материала, по сравнению с образцами, выдержанными в дистиллированной воде.

2. В водных растворах с увеличением концентрации соли NaCl кинетика процесса вымывания кальция значительно выше, чем у образцов, содержащихся в дистиллированной воде, и увеличивается в 4-6 раз.

3. Процесс вымывания ионов кальция из образцов, содержащихся в воде, замедляется уже на третьи сутки. В тоже время, вымывание кальция из образцов бетона, содержащихся в солевых растворах, замедляется только после 14 суток выдержки.

4. Полученные данные позволяют выявить систематическую зависимость кинетики процессов вымывания ионов кальция из силикатных бетонов, при наличии во внешней среде ионов хлора различной концентрации, являющихся наиболее химически агрессивными по отношению к строительным материалам. Предлагаемая методика может быть использована для диагностики бетонов, подвергающихся воздействию агрессивной среды.

Список источников

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 536с.
2. Левчук, Н.В. Влияние внешних экологических факторов на бетонные конструкции / материалы Международн. науч.-практ. конф., Брест, 18-20 апр. 2012 г. // УО «Брестск. гос. техн. ун-т»; под ред. А.А. Волчека [и др.]. – Брест, 2012. – 208 с.
3. Баженов, Ю.М. Технология бетона./ Ю.М. Баженов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2003. – 499с.
4. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и поврежденных солями строительных сооружений / Франк Фрессель, М.: ООО «Пэйнт-Медиа», 2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ БЕТОНОВ С АРМИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В АГРЕССИВНОЙ ВОДНОЙ СРЕДЕ

Левчук Н.В., Василевская М.В.

Введение. В результате техногенеза во всех природных компонентах происходит увеличение концентраций загрязняющих веществ. В атмосферу ежегодно выбрасывается более 200 млн тонн оксида углерода, почти 146 млн тонн диоксида серы, примерно 53 млн тонн оксидов азота. Атмосферные осадки, содержащие соединения азота и серы способствуют нарушению естественных химических и биологических процессов в почвах, оказывают разрушающее воздействие на хозяйственные (строительные) объекты.

Известно, что значительная часть строительных конструкций эксплуатируется при воздействии агрессивных сред с высокой влажностью, а гидроотехнические сооружения функционируют в жидкой агрессивной среде. В таких условиях к строительным материалам и сооружениям предъявляются более жесткие требования по коррозионной стойкости к воздействию внешней среды. При этом, процессы структурообразования, должны оказывать положительное влияние на, прочность и другие физико-механические и эксплуатационные свойства строительных материалов из которых выполнены конструкции и сооружения

При эксплуатации сооружений из цементных бетонов, подвергающихся постоянному воздействию жидких сред, содержащих вещества, которые способны вступать в химические реакции с цементным камнем, возникает проблема образования легкорастворимых продуктов реакции или веществ образующихся в порах цементного камня и уносимых с водой в виде амфотерных масс. Такие процессы способствуют инициации коррозии бетонов второго вида, а при наличии содержания сульфатов в жидкой среде – сульфатной или сульфалоюминатно-гипсовой коррозии.

При концентрации сульфатов от 250-300 до 1000 мг/л развивается сульфатная коррозия бетонов, при содержании сульфатов более 1000 мг/л – сульфалоюминатно-гипсовая коррозия.

Известно, что основной причиной разрушения бетонных конструкций, подвергающихся действию различных агрессивных сред, является коррозия цементной матрицы бетона. Наибольшее разрушающее действие на цементную матрицу бетона оказывает сульфатная коррозия, вызванная действием сульфатов различной природы и концентрации. Данный вид коррозии включает процессы, при развитии которых происходят образование и накопление кристаллов двуводного гипса и трехсульфатной формы гидросульфалоюмината кальция. Кристаллизация малорастворимых продуктов реакции цементной составляющей бетона с сульфатной средой приводит к разрушению цементной матрицы, а значит и бетонной конструкции, за счет значительного увеличения объема твёрдой фазы[1].

Основная часть. Основой большинства цементов является портландцементный клинкер. Вводя различные добавки и нормируя минералогический состав, получают различные цементы, необходимые для использования их в различных условиях. Необходимо отметить, что сульфатостойкие цементы выделены в отдельную группу. Такой цемент применяют для особо тяжелых условий при наличии внешнего агрессивного воздействия. В таких условиях, чаще всего используют сульфатостойкий портландцемент, полученный совместным помолом портландцементного клинкера и тонкомолотой минеральной добавки: трепела, опоки, диатомита (5-10%) или доменного гранулированного шлака (10-20%). Добавка связывает выделяющийся при гидратации алюмината гидрат окиси кальция, что способствует повышению сульфатостойкости цемента [2]. Использование добавок такого рода позволяет получать сульфатостойкий портландцемент высоких марок М400 и 500 даже с повышенным содержанием алюминатов. Например, сульфатостойкий шлакопортландцемент (СШПЦ) марки М300 400 получают при содержании алюминатов до 8 %.

Кроме того, на процессы структурообразования цементных композитов и бетонов на их основе оказывают влияние различные модифицирующие добавки. Особое внимание в на-

стоящее время уделяется добавкам из микрофибры. Высокодисперсные волокнистые наполнители, в качестве которых используется в основном полимерная, стальная или базальтовая фибра, в цементных композициях оказывают положительное влияние на процессы структурообразования, прочность наполненных бетонов и другие физико-механические и эксплуатационные свойства бетона.

Микрофибра при участии в процессах гидратации цементного камня имеет способность частично занимать внутриспоровые пространства и тем самым, уменьшая количество отверстий, контролировать перемещение свободной воды в бетоне. Каждое отдельное волокно фибры в процессе созревания бетона «разрастается» в преимущественном направлении расположения конкретного волокна, усиливая эффекты дисперсного армирования. При этом возникновение кристаллического сростка цементного камня в стесненных условиях на границе раздела между матрицей и волокнами может привести также [3] к трансформации конфигурации этого сростка, в том числе к направленной геометрии распределения кристаллов (направленной кристаллизации) в структуре сростка и, как следствие, к возникновению «эффекта самоармирования» бетонной матрицы.

Способность фибры контролировать перемещение свободной воды в бетонной смеси уменьшает возможность сегрегации мелких частиц цементного вяжущего и заполнителя в период затворения, а также обеспечивает более эффективное сцепление цементного раствора тем самым снижая проницаемость бетонов для водорастворимых агрессивных ионов.

С применением фиброармированных смесей на цементном вяжущем повышается трещиностойкость бетонных композитов. Повышенная трещиностойкость связана с поверхностью раздела фаз в структуре композиционных материалов. Установлено, чем меньше диаметр волокон, чем больше их объемное содержание, тем больше поверхность их контакта с бетонной матрицей, что способствует сохранению большей внутренней прочности бетона [4].

Эти положения позволили провести серию экспериментов по изучению свойств цементного камня и бетона, эксплуатируемого в сульфатной и углекислотной средах.

В качестве агрессивной исходной среды использовался раствор сульфата натрия с концентрацией 2000 мг/л.

В лабораторных условиях проводились испытания сульфатостойкости бетонных образцов размерами 5×5×5, с добавкой метакрилатов $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ и гипса приготовленных на основе напрягающего цемента четырех составов:

1) портландцемент марки М500 Д0 (75%), метакрилат (13%), гипс (12%), вода (33,5%). Образцы данного состава пребывали в сульфатной агрессивной среде с концентрацией сульфат-ионов не более 2000 мг/л в течение 24 месяцев;

2) портландцемент марки М500 Д0 (75%), метакрилат (13%), гипс (12%), вода (33,5%); базальтовая фибра из расчета 1,5 кг на 1 м³ бетонной смеси. Образцы данного состава пребывали в сульфатной агрессивной среде с концентрацией сульфат-ионов не более 2000 мг/л в течение 24 месяцев;

3) портландцемент марки М500 Д0 (75%), метакрилат (13%), гипс (12%), коллоидный раствор гидроксида алюминия (33,5%). Образцы данного состава пребывали в сульфатной агрессивной среде с концентрацией сульфат-ионов не более 2000 мг/л в течение 24 месяцев;

4) портландцемент марки М500 Д0 (75%), метакрилат (13%), гипс (12%), коллоидный раствор гидроксида алюминия (33,5%), базальтовая фибра из расчета 1,5 кг на 1 м³ бетонной смеси.

Все образцы в течение двух лет выдерживались в водной сульфатной среде. Учитывая процессы вымывания ионов кальция Ca^{2+} из цементного камня были проведены исследования по содержанию кальция в растворе и исследования микроструктуры образцов. Микроструктура образцов исследовалась после высушивания их в обычных условиях при комнатной температуре до постоянной массы (рисунок 2-5) под микроскопом «Альтами».

Для состава на основе напрягающего цемента (портландцемент марки М500 Д0 (75%), метакрилат (13%), гипс (12%), вода (33,5%)) на рисунке 1 представлена зависимость относительного количества сульфат-ионов в перерасчете на SO_3 , поглощенного бетоном в граммах, от времени.

Исследования проводились согласно Рекомендации по способам защиты бетона в условиях сульфатной коррозии. Данная методика предназначена для ускоренного определения коррозионной стойкости бетона в средах, характеризующихся сульфатной агрессивностью с концентрацией сульфат-ионов не более 2000 мг/л. Метод основан на сравнении скорости поглощения агрессивных ионов (SO_4^{2-}) испытуемым бетоном и особо плотным бетоном повышенной сульфатостойкости приготовленным из портландцемента по ТУ 21-21-10-80. Испытания образцов проводились в сроки, соответствующие 1, 3, 6, 9, 12 неделям. По окончании испытаний нами строилась кривая поглощения бетоном сульфатных ионов во времени и сравнивалась с эталонной кривой (рис. 1).

Обработка полученных результатов на данном этапе позволила считать исследуемый бетон сульфатостойким и использовать для изготовления конструкций, работающих в сульфатных средах с концентрацией ионов SO_4^{2-} не более 2000 мг/л, поскольку кривая поглощения находится на диаграмме ниже эталонной кривой.

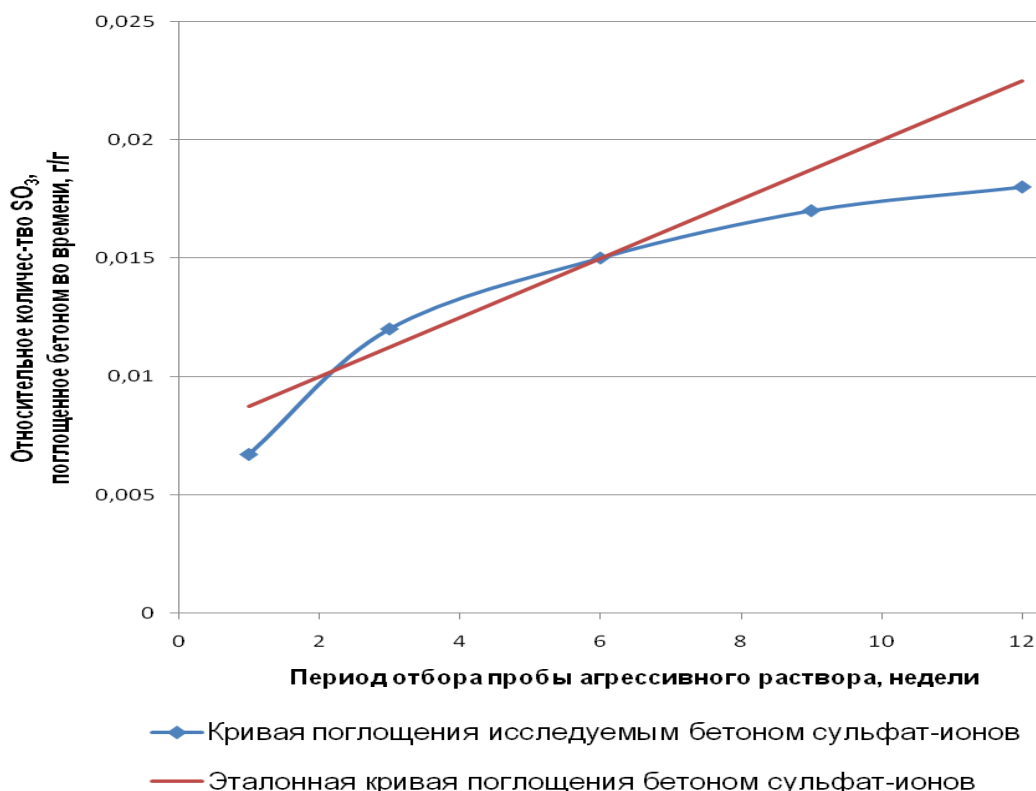


Рисунок 1 – Зависимость относительного количества сульфат-ионов в перерасчете на SO_3 , поглощенного бетоном в граммах, от времени

Выводы. Анализируя полученные результаты исследований, было сформулировано следующее заключение, касательно возможности использования данного состава бетонной смеси для изготовления конструкций, эксплуатируемых в моделируемой выше агрессивной среде:

1. В период с первой по третью неделю выдержки образцов цементного бетона в агрессивной среде происходит интенсивное поглощение сульфатов из исходного раствора, приводящее к превышению значений сульфатостойкости бетона относительно эталонной кривой.
2. В период с шестой по седьмую неделю выдержки образцов процесс поглощения сульфатов замедляется и кривая поглощения сульфатов пересекает эталонную кривую.
3. За следующий период испытаний кривая поглощения сульфатов значительно ниже эталонной, что позволяет использовать данный состав бетона для изготовления сооружений, работающих в сульфатных средах и считать бетон сульфатостойким.

Анализируя полученные результаты исследований, было сформулировано следующее заключение, касательно возможности использования данного состава бетонной смеси для изготовления конструкций, эксплуатируемых в моделируемой выше агрессивной среде:

1. В период с первой по третью неделю выдержки образцов цементного бетона в агрессивной среде происходит интенсивное поглощение сульфатов из исходного раствора, приводящее к превышению значений сульфатостойкости бетона относительно эталонной кривой.

2. В период с шестой по седьмую неделю выдержки образцов процесс поглощения сульфатов замедляется и кривая поглощения сульфатов пересекает эталонную кривую.

3. За следующий период испытаний кривая поглощения сульфатов значительно ниже эталонной, что позволяет использовать данный состав бетона для изготовления сооружений, работающих в сульфатных средах и считать бетон сульфатостойким.

На данном этапе исследований изучается микроструктура поверхностей образцов бетона, длительное время пребывающих в сульфатной среде.

В структуре порового пространства бетона в зависимости от локализации выделяют три вида пор: поры цементного камня, поры заполнителя и контактные поры на поверхности раздела цементного камня и заполнителя. Кроме пор, образующихся при затворении цемента, могут появиться поры из-за вовлечения воздуха при перемешивании смесей и недостаточного уплотнения [1, 2]. Такая структура цементного камня позволила В. Н. Юнгу образно назвать его «микробетоном». По представлениям И. А. Рыбьева [5], подобные структуры являются конгломератными.

Чрезвычайно широк диапазон размеров пор. При этом группы пор различают по состоянию и проведению в них воды.

1. Ультрамикропоры с радиусом меньше 50 ангстрем (Å). В таких порах вода находится под действием молекулярных поверхностных сил твердой фазы.

2. Переходные - микропоры с радиусом 50-1000 Å . Проницаемость порового пространства при различных физико-химических воздействиях зависит от количества воды в порах. Объем воды, содержащейся за счет поверхностных сил твердой фазы, соизмерим с объемом воды, заполняющей поры.

3. Микропоры с радиусом более 0,1 мкм, в которых основное количество воды, за исключением адсорбционного слоя, свободно. Такие поры являются основными путями перемещения жидкой и газообразной фаз в бетоне [6].

В бетоне необходимо учитывать распределение пор не только по размерам, но и по характеру пористости: замкнутая, капиллярная, сквозная.

Имеющиеся многочисленные результаты исследований по взаимосвязи прочность – пористость по-разному классифицируют ранги пор. Для оценки отдельных рангов пор в формировании свойств цементного камня принята классификация, предложенная В.С.Данюшевым и К.А. Джабаровым, с дополнением по А.В. Лыкову и М.М. Дубинину – делением рангов капиллярных пор на микрокапиллярные с радиусом до 100 нм (0,1 мкм) и макрокапиллярные с радиусом больше 100 нм [5].

Диффузионные явления играют важную роль в процессах коррозионного разрушения бетона и железобетона, омываемых грунтовыми или поверхностными природными водами, или при насыщении водой. Суммарный процесс проникновения агрессивных ионов внутрь цементного камня и скорость накопления в них соединений цементных минералов с этими ионами будет зависеть от процессов внешней диффузии – подвод и отвод к поверхности агрессивной среды, и внутренней диффузии ионов электролита в порах цементного камня. Как правило, определяющим фактором скорости коррозионных процессов в бетоне является скорость внутренней диффузии.

Исследования, проводимые многими учеными в различных странах, убедительно доказывают, что, во-первых, бетоны, армированные волокнами различного происхождения, имеют более высокие физико-механические характеристики; во-вторых, способность фибры контролировать перемещение свободной воды в бетонной смеси положительно влияет на процессы структурообразования.

Учитывая все аспекты формирования структуры бетонов, учитывая введение модифицирующих добавок, для оценки полученных микроскопических исследований необходима дополнительная теоретическая информация.

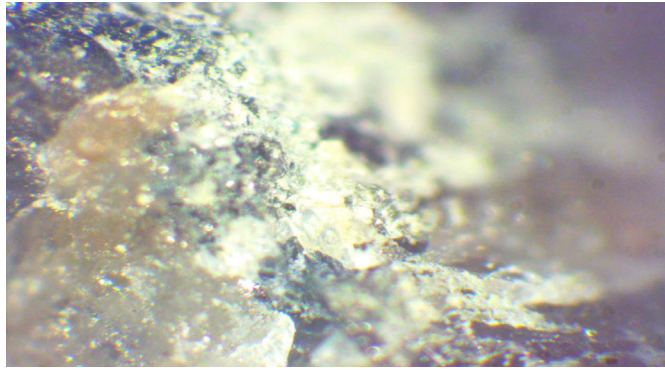


Рисунок 2 – Микроструктура образца четвертого состава (М 1:500)

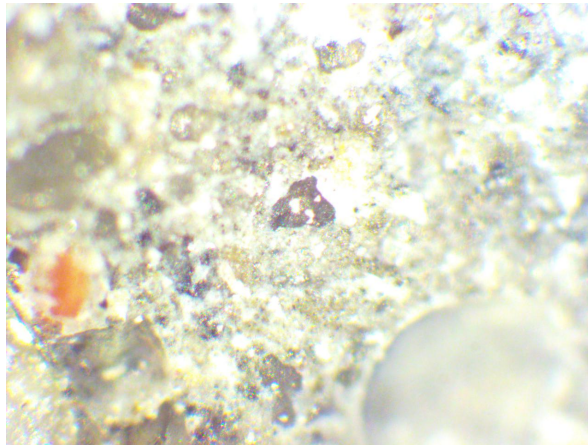


Рисунок 3 – Микроструктура образца второго состава (М 1:500)

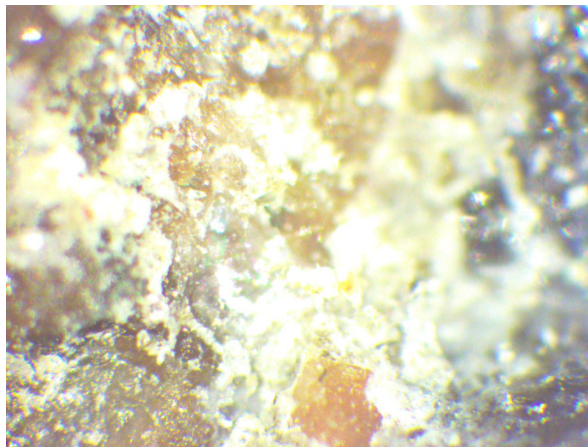


Рисунок 4 – Микроструктура образца третьего состава (М 1:500)

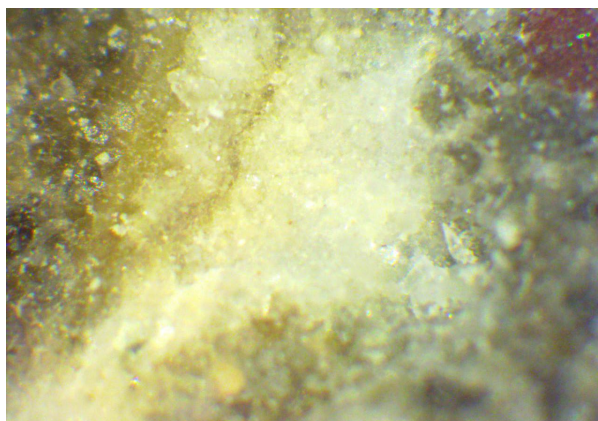


Рисунок 5 – Микроструктура образца первого состава (М 1:500)

Исследования показали, что при определении содержания кальция Ca^{2+} в растворах, в которых выдерживались образцы с фиброй меньше, чем в растворах, в которых выдерживались образцы без фибры (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты определения содержания ионов кальция

| Состав бетонного образца | Содержание ионов кальция Ca^{2+} , мгэкв/л |
|--------------------------|--|
| Первый состав | 1,82 |
| Второй состав | 0,95 |
| Третий состав | 0,82 |
| Четвертый состав | 0,3 |

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1. Введение в бетоны добавки микрофибры оказывает положительное влияние на структуру бетона, снижает скорость вымывания ионов кальция Ca^{2+} , тем самым замедляет процессы коррозии.

2. Затворение бетонных образцов коллоидным раствором гидроксида алюминия $Al(OH)_3$ также замедляется процесс вымывания ионов кальция, накопления крупных кристаллов гидроксида кальция, гипса и некоторых других новообразований.

Полученные экспериментальные данные дают возможность предположить использование волокон фибры в качестве сорбента других водорастворимых ионов, что, в свою очередь, позволит оценить коррозионную стойкость бетонных конструкций при строительстве подземных очистных сооружений в условиях воздействия химически агрессивных жидких сред. В волокнистой, поровой структуре волокон фибры накапливаются водорастворимые ионы, которые при химическом взаимодействии с минералами цементного клинкера, составом самой фибры и различными добавками в бетоне, создают условия для формирования новых кристаллических структур, обуславливающих прочность бетонов.

Список источников

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 536с.

2. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебник / Ю.М. Баженов. – М.: Изд. АСВ, 2003. – 500 с.

3. Технология дисперсного армирования дисперсных композитов [Электронный ресурс] // URL: <http://www.volokno.su/department/technology-reinforcing/?template=85> (дата обращения 12.12.2015).

4. Сахибгореев, Р.Р. Управление процессами структурообразования модифицированных цементных бетонов [Электронный ресурс] // URL: <http://tekhnosfera.com/view/338475/a?#?page=5> (дата обращения 09.01.2018).

5. Материаловедение в строительстве: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / И.А. Рыбьев [и др.]. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 528с.

6. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества/А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 463с.

О КИНЕТИКЕ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНОГО КАМНЯ И БЕТОНА С ДОБАВКОЙ «УКД-1»

Марко О.Ю.

Введение. Для регулирования свойств бетонной смеси, бетона и экономии цемента применяют различные добавки в бетон. Одним из наиболее эффективных вариантов является использование комплексных химических добавок в бетон, проявляющих эффект пластификации в сочетании с повышением темпа роста прочности, что обеспечивает ускорение оборота опалубок, а в итоге – повышение темпа и сокращение сроков строительства, снижения энергетических затрат в строительном производстве.

Приведенным критериям полностью отвечает новая комплексная химическая добавка «УКД-1», разработанная в Беларуси с использованием в составе отечественного углеродного наноматериала (УНМ) и обладающая эффективным сочетанием пластифицирующе-ускоряющего воздействия на цементный бетон. Это пластифицирующая добавка I группы (по СТБ 1112-98 [1]) с ускоряющим эффектом, применяемая как при изготовлении сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, так и в монолитном строительстве.

В статье приведены важнейшие результаты исследований влияния добавки «УКД-1» на кинетику твердения цементного камня и бетона в зависимости от свойств использованного цемента, условий и времени твердения.

Материалы для исследований. В качестве вяжущего вещества для бетона использованы цементы отечественных заводов с характеристиками, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Общая характеристика цементов, использованных в исследованиях

| Завод-изготовитель | Марка цемента | Группа активности при пропаривании | Минералогический состав, % | | | | K _{нтг} | Сроки схватывания, ч; мин | |
|--------------------------------------|---------------|------------------------------------|----------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------------|-----------------|
| | | | C ₃ S | C ₃ A | C ₂ S | C ₄ AF | | начало | конец |
| 1. ОАО «Белорусский цементный завод» | M500-Д0 | I | 58 | 7,3 | 20 | 11,5 | 0,255 | 2 ⁰⁵ | 3 ¹⁰ |
| 2. ОАО «Белорусский цементный завод» | M500-Д20 | II | 56,3 | 8 | 20,4 | 10,6 | 0,26 | 2 ⁰⁵ | 3 ²⁰ |
| 3. ОАО «Белорусский цементный завод» | M400-Д0 | I | 56 | 6,5 | 18 | 13 | 0,265 | 2 ¹⁰ | 3 ²⁰ |
| 4. ОАО «Кричевцементношифер» | M500-Д0 | II | 54 | 5 | 21 | 16 | 0,26 | 3 ¹⁵ | 5 ¹⁰ |
| 5. ОАО «Кричевцементношифер» | M400-Д20 | III | 51 | 4,5 | 26 | 15 | 0,27 | 3 ²⁰ | 5 ¹⁰ |
| 6. ОАО «Кричевцементношифер» | M500-Д0 | I | 55 | 4,7 | 20 | 15 | 0,255 | 2 ⁰⁵ | 3 ¹⁷ |
| 7. ОАО «Красносельскстройматериалы» | M500-Д20 | II | 53 | 3,3 | 23 | 15,7 | 0,26 | 2 ³⁵ | 3 ⁵⁵ |
| 8. ОАО «Красносельскстройматериалы» | M400-Д20 | II | 52 | 3,8 | 22 | 17,5 | 0,265 | 2 ³⁰ | 3 ⁴⁰ |

Традиционные материалы для бетона (заполнители и вода) соответствовали требованиям действующей технической нормативно-правовой документации.

В качестве химических добавок были использованы:

- ускоритель твердения – сульфат натрия (Na_2SO_4 ; в тексте аббревиатура – СН) кристаллизационный, ГОСТ 21458-75 [2], производства ОАО «Могилевхимволокно»;
- пластифицирующий компонент – суперпластификатор «СУПЕРПЛАСТ С-3», ТУ 5730-004-97474489-2007 [3] (в тексте аббревиатура «СП»);
- комплексная углеродосодержащая добавка «УКД-1», техническое свидетельство ТС 01.2093.14, выданное РУП «Стройтехнорм» Минстройархитектуры РБ 10.01.2014 г. сроком на 5 лет [4].

Кинетика твердения, прочность цементного камня и активность цемента. Влияние добавки «УКД-1» и ее ускоряющего (СН) и пластифицирующего (СП) компонентов на кинетику твердения цемента исследовали, оценивая изменение прочности цементного камня во времени. Для проведения испытаний использовали портландцемент ПЦ500-Д20 (№2 по таблице 1). Цементное тесто нормальной густоты готовили по методике ГОСТ 310.3-76 [5]; при введении добавок с пластифицирующим эффектом уменьшали начальное водосодержание до консистенции цементного теста, соответствующей тесту нормальной густоты. Образцы-кубы с ребром 20 мм изготавливали в 18-гнездных формах.

При этом одна партия образцов не подвергалась дополнительному разогреву, а вторую – после предварительной выдержки в течение 2 ч, разогревали в формах (в бачке над подогреваемой водой) до температуры 50°C в течение 1,5 ч, а затем образцы остывали в бачке и через 21...22 ч после изготовления их распалубливали. Часть образцов (не менее 3...6 шт. в серии) испытывали в возрасте 24 ч, а остальные твердели до испытаний в помещении лаборатории, гидроизолированными полиэтиленовой пленкой или в воде.

Особенностью эксперимента была пониженная температура среды (воды), равная $10...12^\circ\text{C}$ (по фактическим условиям испытательной лаборатории). Указанные режимы твердения образцов цементного камня приняты, во-первых, с целью максимально исключить возможность изменения начального водосодержания цементного камня в процессе твердения, а во-вторых, имитировать начальным прогревом условия твердения цементного бетона при использовании малоэнергоёмкой технологии, которая включает период разогрева бетона с последующим твердением без подвода тепла [6-9].

Результаты экспериментов с оценкой кинетики изменений прочности цементного камня представлены в таблице 2. Каждое единичное значение прочности (приведена в относительной (%) величине) получено как среднее арифметическое не менее 3...6 образцов в серии. При этом отклонение отдельных значений в серии не превышало 15% от среднего в этой серии. На начальном этапе этих экспериментов (составы №№2...5; 7...10; 12*...15*) оценили влияние пластифицирующего и ускоряющего твердение цемента компонентов на кинетику роста прочности цементного камня.

Таблица 2 – Составы цементного теста и относительная прочность (%) образцов цементного камня

| № состава | Расходы, г (% от МЦ) | | | $K_{\text{НГ}}$ | $\Delta B, \text{г}$ | Условия твердения | | Прочность в % от $R_{28}^{\text{ЦК}}$ в возрасте, сут: | | | |
|-----------|----------------------|-----|----------------------|-----------------|----------------------|-------------------|--------|--|----|-----|-----|
| | В | Ц | добавка | | | НВУ | в воде | 1 | 3 | 7 | 28 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 102 | 400 | - | 0,255 | - | + | - | 50 | 81 | 92 | 100 |
| 2 | 102 | 400 | 1,0% СН | 0,255 | - | + | - | 67 | 92 | 102 | 110 |
| 3 | 102 | 400 | 0,5% СН | 0,255 | - | + | - | 66 | 90 | 97 | 107 |
| 4 | 80 | 400 | 0,5% СП | 0,200 | 22 | + | - | 30 | 73 | 94 | 102 |
| 5 | 80 | 400 | 0,5% СН + 0,5% СП | 0,200 | 22 | + | - | 58 | 86 | 101 | 111 |
| 6* | 102 | 400 | - | 0,255 | - | + | - | 52 | 87 | 93 | 101 |

Окончание таблицы 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----|-----|-----|----------------------|-------|----|---|---|----|-----|-----|-----|
| 7* | 102 | 400 | 1,0% СН | 0,255 | - | + | - | 67 | 89 | 99 | 104 |
| 8* | 102 | 400 | 0,5% СН | 0,255 | - | + | - | 66 | 86 | 99 | 103 |
| 9* | 80 | 400 | 0,5% СП | 0,200 | 22 | + | - | 35 | 78 | 94 | 101 |
| 10* | 80 | 400 | 0,5% СН + 0,5% СП | 0,200 | 22 | + | - | 59 | 89 | 101 | 110 |
| 11* | 102 | 400 | - | 0,255 | - | - | + | 57 | 88 | 94 | 103 |
| 12* | 102 | 400 | 1,0% СН | 0,255 | - | - | + | 68 | 89 | 101 | 109 |
| 13* | 102 | 400 | 0,5% СН | 0,255 | - | - | + | 67 | 88 | 100 | 105 |
| 14* | 80 | 400 | 0,5% СП | 0,200 | 22 | - | + | 37 | 80 | 95 | 107 |
| 15* | 80 | 400 | 0,5% СН + 0,5% СП | 0,200 | 22 | - | + | 60 | 89 | 101 | 116 |
| 16 | 84 | 400 | 1%УКД-1 | 0,210 | 18 | - | + | 64 | 99 | 119 | 121 |
| 17 | 82 | 400 | 1%УКД-1 | 0,205 | 20 | - | + | 67 | 108 | 127 | 145 |
| 18 | 82 | 400 | 1%УКД-1 | 0,205 | 20 | + | - | | | | 139 |
| 19 | 96 | 400 | 0,5%УКД-1 | 0,240 | 6 | + | - | | | | 121 |
| 20 | 88 | 400 | 0,75%УКД-1 | 0,220 | 14 | + | - | | | | 133 |
| 21 | 76 | 400 | 1,5%УКД-1 | 0,190 | 26 | + | - | | | | 148 |

* с нагревом за 1,5 часа до температуры 50°С и остыванием в бачке (~ 22 ч).

В развитие этих экспериментов на сериях образцов №№ 16...21 определили кинетику изменений (роста) прочности цементного камня при различающейся дозировке добавки «УКД-1» (№№ 18...21) и сроков ее хранения до применения (№16 – в течение года; №17 – 7...14 дней; №№18...21 – 45...60 суток). Из ряда этих образцов также готовили пробы для определения количества ХСВ и проведения рентгенофазового анализа (данные в статье не приведены).

Обобщение данных таблицы 2 позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, очевидно, что ускоряющий компонент – добавка СН и комплексная, включающая СП + СН, обеспечивают стабильный рост прочности цементного камня. Но наибольшую эффективность проявляет комплексная добавка «УКД-1», содержащая эти компоненты и углеродный наноматериал, усиливающий действие сульфата натрия. Ее эффект проявляется в значительном повышении темпа роста прочности цементного камня за счет сочетания понижения водосодержания цементного теста и совокупного ускоряющего эффекта от сульфата натрия (имеющего химико-физическую природу и в итоге проявляющегося в уплотнении структуры цементного камня за счет взаимодействия в продуктах гидролиза-гидратации цемента [10-12]), а также от ультрадисперсных частиц УНМ, проявляющих эффект «центров кристаллизации [10], что способствует ускоренному формированию (и в большом количестве) кристаллогидратных новообразований, а в итоге – росту прочности цементного камня [13, 14].

Эффективность вещества УНМ подтверждается сопоставлением результатов экспериментов №5; №15* (введена комплексная добавка: 0,5% СП + 0,5% СН, т.е. 1% этой добавки от МЦ) и №16; №18 (содержит 1% «УКД-1»). При практически равном начальном водосодержании ($K_{НГ} \sim \text{const}$) цементного теста (снижение за счет пластифицирующего эффекта этих добавок) прочность образцов с «УКД-1» к 28 суткам была выше на ~28% (№5 и №8) и на ~15% (№15 и №16), при прочих равных условиях. Это подтверждает предположение об усилении веществом УНМ действия ускорителя твердения – сульфата натрия, входящего в состав комплексной добавки «УКД-1».

Активность цемента (по темпу роста прочности и значению в 28 суток) и ее изменение для цементов разных групп эффективности (I, II и III-ей; таблица 1) под влиянием ускоряющего компонента (СН), пластифицирующего компонента (СП) и комплексной добавки без углерод-

ного компонента (К), а также содержащей УНМ в составе – «УКД-1», экспериментально исследовали по методике ГОСТ 310.3-76 [5] определения активности цемента. То есть, на образцах – балочках, размерами 40x40x160 мм, приготовленными из цементно-песчаного раствора состава Ц:П=1:3, консистенция которого была принята «const» и характеризовалась распылом конуса $\sim \pm 10$ мм при изменяющемся количестве воды затворения.

Из полученных экспериментальных данных (таблица 3) следует, что введение сульфата натрия (СН) интенсифицирует темп роста прочности мелкозернистого бетона во все исследуемые сроки наиболее благоприятного водного твердения; увеличение дозировки «СН» с 0,5 до 1,5 % от МЦ сопровождается ростом прочности в 1, 2, 3 и 7 суток соответственно на 25...70 %; 20...60 %; 15...40 % и 15...30 %. При этом ее относительные прирост несколько выше для цемента III и II группы активности соответственно в сравнении с I группой. Очевидна тенденция к снижению эффективности действия ускорителя твердения с увеличением времени твердения: к 28 суткам прирост прочности для 0,5...1,5 % дозировки «СН» составляет 5...12 %.

Таблица 3 – Кинетика роста прочности цементно-песчаного раствора (мелкозернистого бетона)

| № цемента по таблице 1 | Количество и вид добавки | Прочность на сжатие (МПа) в возрасте, сут | | | | |
|------------------------|--------------------------|---|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 7 | 28 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | - | 12,1 | 22,6 | 28,5 | 38,9 | 53,0 |
| 1 | 0,5 % СН | 15,0 | 27,8 | 32,0 | 42,8 | 54,2 |
| 1 | 1,0 % СН | 18,8 | 32,5 | 38,5 | 48,8 | 57,4 |
| 1 | 1,5 % СН | 20,6 | 36,1 | 39,0 | 51,2 | 59,1 |
| 1 | 0,35 % СП | 9,8 | 22,8 | 31,8 | 42,5 | 56,5 |
| 1 | 0,5% СП | 11,5 | 23,4 | 35,0 | 47,9 | 59,5 |
| 1 | 0,65 % СП | 12,4 | 26,9 | 39,5 | 52,2 | 63,8 |
| 1 | 0,8% СП | 12,7 | 29,0 | 40,1 | 53,0 | 64,5 |
| 1 | 0,35 + 0,65% К | 17,8 | 33,1 | 41,6 | 53,5 | 64,9 |
| 1 | 1,0% «УКД-1» | 21,2 | 38,5 | 43,8 | 56,8 | 69,9 |
| 6 | - | 8,6 | 15,5 | 22,7 | 35,8 | 49,6 |
| 6 | 1 % СН | 14,5 | 25,2 | 38,0 | 42,9 | 53,5 |
| 6 | 0,65% СП | 10,5 | 24,4 | 38,9 | 47,0 | 58,5 |
| 6 | 1,0% «УКД-1» | 15,8 | 28,9 | 36,3 | 48,8 | 60,6 |
| 3 | - | 8,0 | 14,4 | 20,9 | 33,3 | 48,0 |
| 3 | 1 % СН | 13,2 | 19,8 | 25,0 | 40,5 | 50,8 |
| 3 | 0,65% СП | 9,8 | 17,9 | 24,4 | 41,8 | 54,7 |
| 3 | 1,0% «УКД-1» | 14,6 | 21,2 | 29,0 | 45,8 | 56,8 |
| 7 | - | 6,0 | 13,8 | 18,1 | 29,5 | 42,0 |
| 7 | 1 % СН | 11,2 | 18,0 | 22,8 | 36,9 | 45,4 |
| 7 | 0,65% СП | 8,7 | 17,5 | 22,0 | 41,0 | 50,5 |
| 7 | 1,0% «УКД-1» | 12,4 | 19,9 | 26,7 | 44,4 | 52,0 |
| 4 | - | 5,5 | 12,4 | 17,4 | 27,7 | 49,5 |
| 4 | 1 % СН | 9,5 | 17,0 | 23,6 | 34,4 | 43,0 |
| 4 | 0,65 % СП | 8,4 | 14,9 | 20,5 | 36,2 | 47,5 |
| 4 | 1,0% «УКД-1» | 10,0 | 19,0 | 26,6 | 40,2 | 48,2 |

Добавка «СП», сдерживая развитие гидратационного процесса цемента, замедляет темп роста прочности мелкозернистого бетона в первые сутки (относительно раствора без добавки) и в 1...3 суток, в сравнении с добавкой «СН». Значительное снижение начального водосодержания раствора равной консистенции, что обеспечивает введение «СП», выражается в росте его прочности с 3...7 суток. К 28 суткам твердения в воде активность цемента с 0,35...0,8 % «СП» повышается до 12...22 %.

Комплексная добавка (0,35%+0,65% К) без углеродного наноматериала в начальные сроки практически не уступает ускорителю твердения «СН» в дозировке 1%, превосходя его к 3...28 суткам твердения, и выигрывая у пластификатора «СП» в первые 1...3 суток, не уступает ему к 7...28 суткам твердения.

Комплексная добавка «УКД-1» в дозировке 1% по величине проявляемого эффекта практически превосходит в 1...3 сутки эффект наибольшей дозировки «СН» (в 1,5 %), а в 7...28 сутки – дозировки добавки «СП» (в 0,65 %), так и комплексной без углеродного наноматериала. Она обеспечивает снижение водосодержания мелкозернистого бетона за счет пластифицирующего воздействия в сочетании с активизацией гидратации и твердения цемента веществами СН и УНМ, что полностью согласуется с данными предыдущего раздела. В результате эффективность воздействия комплексной добавки, содержащей углеродный наноматериал, выше, чем каждого из составляющих компонентов, дозируемых как монодобавка в большем количестве, или комплексная добавка, но не содержащая УНМ.

Следует отметить несколько возрастающий в ранние сроки твердения эффект от введения добавок «УКД-1» и «СН» в цемент меньшей активности (т.е. большей группы эффективности). Так, для цемента № 1 (I группа эффективности) и №4 (III группа) прирост прочности в 1...3 сутки составляет соответственно 55...36% и 70... 36 %.

На следующем этапе исследований выполнены эксперименты по выявлению закономерностей влияния добавок на твердение цемента (цементно-песчаного раствора или мелкозернистого бетона) при паропрогреве по стандартизированному (ГОСТ 310.3-76 [5]) режиму (выдержка – 2 ч; подъем температуры до 80 ± 5 °С – 3 ч; изотермический прогрев – 6ч; остывание в пропарочном бачке – 2ч) при испытании образцов-балочек в возрасте 23...24 ч на изгиб и сжатие, а также по режимам, включающим разогрев бетона и последующее остывание в пропарочном бачке (термос).

Учитывая целевое назначение настоящей работы (для разработки энергосберегающих технологий) в последнем случае режим прогрева изменяли по значению температуры и продолжительности ее подъема. После выхода на требуемый уровень температуры подачу энергии прекращали. В ряде случаев бачок, в котором вели прогрев образцов, теплоизолировали специальным кожухом, создавая таким образом условия твердения «горячего термоса».

Из результатов исследований (таблица 4) следует, что с введением всех исследованных видов добавок темп роста прочности бетона при пропаривании возрастает. В случае использования «СН» эффект основывается на ускорении процессов гидратации и твердения цемента; при введении «СП» – за счет снижения водосодержания бетона; для комплексных добавок – от сочетания означенных эффектов.

Таблица 4 – Влияние добавок на прочность цемента при паропрогреве

| № цемента по таблице 1 | Количество (%) и вид добавки | Режим прогрева, ч | | | Прочность образцов, МПа, к 24 ч | |
|------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------|
| | | подъем температуры | изотермический прогрев | остывание вместе с бачком | на изгиб | на сжатие |
| 1 | – | 3 (80°С) | 6 | 2 | 4,9 | 34,8 |
| 1 | 1 % СН | 3 (80°С) | 6 | 2 | 5,3 | 38,6 |
| 1 | 1 % СН | 3 (80°С) | термос | 16 | 5,0 | 41,6 |
| 1 | 1 % СН | 3 (60 °С) | термос | 16 | 5,6 | 42,8 |
| 1 | 1 % СН | 2 (40 °С) | термос | 17 | 5,5 | 40,0 |
| 1 | 0,65 % СП* | 3 | 6 | 2 | 5,6 | 42,8 |
| 1 | 0,65 % СП | 3 (60 °С) | термос | 16 | 5,2 | 41,7 |
| 1 | 0,65 % СП | 2 (40 °С) | термос | 17 | 4,9 | 38,5 |

Окончание таблицы 4

| | | | | | | |
|---|---------------|-----------|--------|----|-----|------|
| 1 | 0,35+0,65 % К | 2 (40 °С) | термос | 17 | 6,1 | 43,0 |
| 1 | 1% «УКД-1» | 2 (40 °С) | термос | 17 | 6,4 | 46,1 |
| 3 | – | 3 | 6 | 2 | 4,7 | 31,3 |
| 3 | 1% СН | 3 (60 °С) | термос | 16 | 5,5 | 43,0 |
| 3 | 1 % СН | 2 (40 °С) | термос | 17 | 5,0 | 39,1 |
| 3 | 1% «УКД-1» | 2 (60 °С) | термос | 16 | 6,2 | 46,2 |
| 4 | – | 3 | 6 | 2 | 3,6 | 22,0 |
| 4 | 1% СН | 3 (80 °С) | термос | 16 | 5,1 | 38,8 |
| 4 | 1 % СН | 3 (60 °С) | термос | 16 | 4,7 | 32,5 |
| 4 | 1% «УКД-1» | 3 (60 °С) | термос | 16 | 5,3 | 41,3 |
| 4 | 1% «УКД-1» | 2 (40 °С) | термос | 17 | 5,7 | 32,0 |

* со снижением расхода воды при введении добавки «СП» и комплексов «0,35 + 0,65% К» и «УКД-1».

Наибольший эффект роста прочности показали образцы мелкозернистого бетона с добавкой «УКД-1» для всех вариантов использованного цемента (I, II и III групп эффективности) и равнозначных режимов прогрева или разогрева бетона. Так, при разогреве бетона на цементе I группы до 40 °С, в сравнении с ускоряющим компонентом (1% СН) прочность на сжатие выросла на ~15%, с пластифицирующим (0,65% СП) – на ~19% и с комплексной без углеродного наноматериала – на ~7,5%.

Полученные данные также свидетельствуют об эффективности режима прогрева, включающего кратковременный тепловой импульс, путем нагрева образцов до 40...60 °С, с последующим термосным твердением бетона с комплексной «УКД-1» и добавкой «СН».

Очевидно, что введение добавки «УКД-1» эффективно для всех видов использованных вяжущих. Со снижением их активности (№4) необходим начальный разогрев до более высокой температуры. Например, в этом случае прочность образцов с добавкой «СН» оказалась выше при нагреве до 80 °С. Отметим, что она нормально повышалась при последующем их дозревании в воде, составив к 28 суткам 43...46 МПа, т.е. превысив на 10 % номинальную марку цемента «400».

Использование монодобавки «СП» в варианте твердения бетона «разогрев-термос» менее эффективно, чем «СН» и тем более – «УКД-1». Это следствие ее действия, проявляющегося в замедлении реакций гидратации цемента и вызывающего снижение темпа роста прочности образцов в начальный период.

В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что введение добавки «УКД-1» повышает темп роста прочности мелкозернистого бетона, обеспечивает при кратковременном (за 2...3 ч) нагреве до температуры 40...60 °С и последующем твердении по методу термоса (16...17 ч) прочность цементно-песчаных образцов стандартизированного состава и консистенции в 70...90 % от номинальной марки цемента, т.е. базу для разработки энергосберегающей технологии бетона для строительных работ.

Одновременно были подтверждены данные источников [6, 8, 9] о том, что при последующем твердении в условиях термоса следует ограничивать разогрев бетона с ускоряющими его твердение добавками, приготовленного на цементе I группы эффективности, $t \sim 40...50$ °С. Так, при разогреве образцов бетона с 1% СН и «УКД-1» до 60 °С (и тем более до 80 °С) и дальнейшим твердением их после распалубки до 28 суток в нормально-влажностных условиях прочность их оказалась ниже, чем прочность разогретых до 40 °С при прочих равных условиях. В приведенных источниках это явление объяснено тем, что для цементов с высоким содержанием «С₃S + С₃A» (как это имеет место для цемента №1 по таблице 1) начальный нагрев до $t > 40...45$ °С оптимален. Превышение этого уровня температуры (с учетом дополнительного разогрева бетона за счет экзотермии цемента) сопровождается чрезмерным ускорением гидролизно-гидратационного процесса в присутствии ускоряющей твердение добавки. В результате вокруг цементных частиц ускоренно формируется плотная и трудно проницаемая для воды реакционная каемка из продуктов гидратации цемента, затрудняющая (или вовсе тормозящая) развитие этого процесса. Как следствие, прочность бетона быстро растет в период теплового воздействия в начальные сроки твердения, но резко замедляет (или вовсе прекращает) свой рост в дальнейшем. Кроме этого, повышение температуры разогрева требует, соответственно, больших энергетических затрат, которые в этом случае не оправданны.

Влияние активности цемента на кинетику твердения бетона. Взаимосвязь темпа роста прочности цементного бетона в разных условиях и минералогического состава вяжущего (в частности, с повышением содержания в клинкере C_3S , C_3A) общеизвестна [8, 9, 15-18]. Но оперировать минералогическим составом на практике не представляется возможным. В этой связи рационально использовать дополнительные характеристики вяжущего – группы эффективности цемента (при работе по ГОСТ 10178-85 [19] и использовании цемента по маркам (активности)), либо прочность в раннем (2 суток) возрасте по СТБ EN 197-1-2007 [20].

В экспериментах использовали составы бетона, приведенные в таблице 5.

Таблица 5 – Составы бетона для исследований

| Номер состава бетона | Класс бетона | Подвижность бетонной смеси (ОК), см | Марка цемента | Расход составляющих (кг) на 1 м ³ бетона: | | | | Водоцементное отношение бетона | X, относительное водосодержание цементного теста, доли.ед. |
|--|----------------|-------------------------------------|---------------|--|-----|------|-----|--------------------------------|--|
| | | | | Ц | П | Щ | В | | |
| А. Составы без добавок | | | | | | | | | |
| 1 (3)* | $C^{12}/_{15}$ | 12...14 | M400 | 380 | 685 | 1100 | 201 | 0,53 | 1,60 |
| 2 (5) | $C^{25}/_{30}$ | 12...14 | M500 | 465 | 590 | 1090 | 208 | 0,45 | 1,42 |
| Б. Составы с добавкой 1% СН | | | | | | | | | |
| 3 (8) | $C^{12}/_{15}$ | 12...14 | M400 | 360 | 720 | 1100 | 182 | 0,50 | 1,44 |
| 4 (10) | $C^{25}/_{30}$ | 12...14 | M500 | 442 | 625 | 1100 | 195 | 0,44 | 1,38 |
| В. Составы с комплексной добавкой 1% «УКД-1» | | | | | | | | | |
| 5 (13) | $C^{12}/_{15}$ | 12...14 | M400 | 340 | 715 | 1150 | 163 | 0,48 | 1,32 |
| 6 (14) | $C^{12}/_{15}$ | 21...23 | M400 | 405 | 720 | 1065 | 180 | 0,44 | 1,27 |
| 7 (15) | $C^{25}/_{30}$ | 12...14 | M500 | 345 | 725 | 1175 | 146 | 0,42 | 1,2 |

В таблице 6 приведены результаты исследований, отражающие влияние активности цемента (марка M400, $R_u = 42$ МПа; M500, $R_u = 49$ МПа; M550, $R_u = 56$ МПа) и его эффективности при пропаривании (I, II и III-я группы) на кинетику роста прочности бетона в нормально-влажностных условиях на примере состава №1 по таблице 5.2 ($C^{12}/_{15}$; ОК ~ 12...14 см). Для получения сопоставимых данных одну партию образцов (№№ 1...3) готовили на цементе марки M400 I, II и III групп активности (№№ 2, 7 и 4 по таблице 1), а вторую (№№ 1, 4 и 5) на вяжущем I группы эффективности разных марок, т.е. M400, M500 и M550 (домолотый), при постоянном расходе вяжущего на 1 м³ бетона, равном 380 кг (в серии – 3 шт; внутрисерийный коэффициент вариации ≤ 8%).

Из полученных данных следует, что как повышение марки или активности цемента, оцениваемой по прочности на сжатие, так и повышение его активности через эффективность при пропаривании (фактически – за счет повышения доли минералов C_3S и C_3A (см. таблицу 1) в его составе) или за счет увеличения тонкости помола (домолотый цемент исходной активности $R_u = 49$ МПа, приобретенной – $R_u = 56$ МПа), способствуют увеличению темпа роста прочности бетона при естественных условиях твердения.

Таблица 6 – Влияние активности цемента и эффективности при пропаривании на темп роста прочности бетона

| Порядковый номер состава | Характеристика цемента | | Прочность бетона в % от $f_{cm, 28}$ в возрасте | | | | | Прочность бетона в 28 суток, МПа |
|--------------------------|------------------------|----------------------|---|----|----|----|----|----------------------------------|
| | марка | группа эффективности | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | |
| 1 | 400 | I | 29 | 46 | 55 | 67 | 81 | 28,2 |
| 2 | 400 | II | 24 | 40 | 51 | 65 | 75 | 26,5 |
| 3 | 400 | III | 20 | 35 | 47 | 58 | 70 | 25,8 |
| 4 | 500 | I | 32 | 49 | 59 | 70 | 83 | 30,6 |
| 5 | 550 | I | 35 | 52 | 63 | 72 | 84 | 32,0 |
| 6 | 500* | I | 29 | 45 | 56 | 69 | 80 | 26,0 |
| 7 | 550** | I | 31 | 46 | 57 | 69 | 81 | 26,5 |

Примечания:

1. * – расход цемента на 1 м^3 соответствовал 350 кг;
2. ** – расход цемента на 1 м^3 соответствовал 330 кг.

Группа эффективности оказывает существенное влияние на кинетику твердения бетона в 1...2 суток, которое (серии №№ 1...3) при переходе от цемента М400 III группы к вяжущему М400 I группы оценивается приростом прочности до 45...25% соответственно. В более поздние сроки эффект снижается и к 28 суткам твердения бетона составляет 9...10%.

Изменение марки цемента от М400 до М550 при равном расходе вяжущего I группы эффективности характеризуется менее значительным повышением темпа твердения бетона в раннем возрасте и оценивается (№№ 1, 4 и 5) для 1...2 суток – 20% и к 28 суткам – 13%. Следовало ожидать, что снижение содержания цемента высоких марок в бетоне (но до уровня, обеспечивающего расчетную прочность класса $C^{12/15}$) будет сопровождаться и понижением темпа роста прочности бетона. Это подтверждено данными о кинетике твердения бетона образцов серий №6 и №7 (М500 и М550) в сравнении с результатами серии №1 (М400).

Таким образом, повышение темпа твердения (роста прочности) бетона по варианту беспрогревной технологии путем применения цемента более высоких марок фактически сопровождается его перерасходом (по критерию обеспечения проектной прочности). Более рационально использовать для этой цели вяжущие меньшей марки (класса), но I группы эффективности (либо с маркировкой «R» при работе с цементами по СТБ EN197-1-2007 [20]).

Заключение. Результаты экспериментальных исследований свойств цементного камня и бетона под влиянием добавки «УКД-1» и составляющих ее компонентов в зависимости от активности цемента позволяют сделать следующие выводы.

Выявлен рост прочности цементного камня на 20...40% при введении 0,75...1,0% «УКД-1» за счет эффектов снижения начального водосодержания и ускорения твердения цемента под комплексным влиянием углеродных наноматериалов и сульфата натрия, взаимно дополняющих этот эффект.

Установлен рост прочности образцов до ~30% мелкозернистого бетона (цементно-песчаного раствора стандартного состава) с 1% добавки «УКД-1» при водном твердении 28 суток, и сразу после прогрева. При этом образцы без добавки пропаривали по режиму: 2 + 3 (до 80°C) + 6 (изотермия) + 3 (остывание), а с добавкой – нагрев до 40°C за 2 ч при дальнейшем твердении в утепленном устройстве без подвода тепла («термосные» условия).

Экспериментально подтверждена более высокая эффективность (с позиций ускоренного роста прочности бетона в 1...3 суток «нормального» твердения) цементов с повышенным суммарным содержанием « C_3S+C_3A », соответствующим I группе эффективности при пропаривании. Сделан вывод, что данный фактор более значим, чем показатель марки цемента, с позиций минимизации его расхода в бетонах, твердеющих в естественных условиях.

Список источников

1. СТБ 1112-98. Добавки для бетонов. Общие технические условия. – Мн.: Стройтехнорм, 1999. – 23 с.
2. ГОСТ 21458-75 Сульфат натрия кристаллизационный. Технические условия. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1975 г.
3. ТУ 5730-004-97474489-2007 Суперпластификатор «Суперпласт С-3», – М.: 2007. – 9 с.
4. Техническое свидетельство пригодности материалов и изделий для применения в строительстве. ТС 01.2093.14. Комплексная добавка для бетона «УКД-1». Дата регистрации: 10.01.2014 г. Действительно до 10.01.2019 г. Выдано РУП «Сройтехнорм» Минстройархитектуры РБ. – 8 с (с приложениями).
5. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – М.: Министерство промышленности строительных материалов СССР, 1978. – 9 с.

6. Батяновский Э.И., Осос Р.Ф. Технологические особенности производства ЖБК с применением ускорителей твердения бетона // Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительство зданий и сооружений: Сб. ст. /Под ред. Н.П. Блещика, Э.И. Батяновского. – Брест: БПИ, 1998. – Вып. 1. – С. 22-25.
7. Парфенова Л.М. Перспективы применения химических добавок в малоэнергоёмких технологиях возведения бетонных и железобетонных конструкций // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: Материалы VI Международного научно-технического семинара (Минск, 17-20 октября 2000 г.) / Под ред. Н.П. Блещика, А.А. Борисевича, Т.М. Пецольда. – Мн.: УП «Технопринт», 2000. – С. 84-88.
8. Батяновский, Э.И., Лихачевский А.Я., Осос Р.Ф. Энергосберегающая технология бетона // Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы развития: Материалы докладов Международной научно-технической конференции (Минск, 25-26 мая 2005 г.) – Мн.: БГТУ, 2005. – С. 146-148.
9. Батяновский, Э.И., Иванова Е.И., Осос Р.Ф. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона // Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». – Мн.: 2006. – №3(6). – С. 7-17.
10. Ратников, В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989. – 186 с.
11. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1990. – 400 с.
12. Тейлор, К. Химия цемента. – Перевод с английского. – М.: МИР, 1986. – С. 174-276; 300-319; 418-429.
13. Батяновский, Э.И., Рябчиков П.В., Якимович В.Д. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента. XVI Межд. науч.-метод. Семинара/ Под общ. ред. П.С. Пойты, В.В. Тура. – Брест: БрГТУ, 2009. – ч. 2. – С. 136.
14. Батяновский, Э.И., Крауклис А.В., Самцов Петр П., Рябчиков П.В., Самцов Павел П. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня. Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». – 2010. – №1-2(28-29). – С. 3-10.
15. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
16. Ахведов, И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
17. Волженский, А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества: Учебник для вузов. Издание 4-е, переработанное и дополненное. – М.: Стройиздат, 1986. – 476 с.
18. Ахвердо, И.Н. Высокопрочный бетон. – М.: Госстройиздат, 1961. – 163 с.
19. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Министерство промышленности строительных материалов СССР, 1987. – 7 с.
20. СТБ EN 197-1-2007. Цемент. Часть 1. Состав, технические требования и критерии соответствия общих цементов. – Мн.: РУП «Стройтехнорм», 2007. – 29 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРЯГАЮЩИХ БЕТОНОВ, АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫМ ФИБРОВолокНОМ

Павлова И.П., Беломесова К.Ю.

Основной тенденцией в развитии высокоэффективных бетонных композитов в настоящее время является улучшение их физико-механических и эксплуатационных характеристик за счет дисперсного армирования разного рода волокнами-фибрами. В качестве последних выступают различные виды металлических и неметаллических волокон минерального и органического происхождения (см. рис. 1).

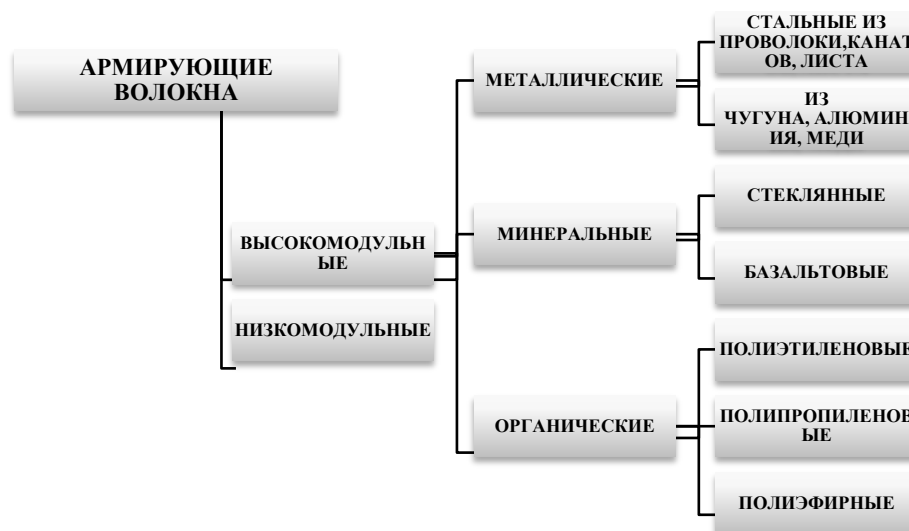


Рисунок 1 – Классификация армирующих волокон [1]

Армирование высокодисперсными волокнистыми наполнителями ведет к устранению основных недостатков бетона – низкой прочности на растяжение и хрупкости разрушения (трещиностойкости). В целом, среди множества материалов, применяемых для дисперсного армирования бетонов, на основании существующих, а также собственных исследований в данной области [2, с.75], необходимо отдельно выделить базальтовые волокна. Перспективность их использования объясняется многими факторами, главные из которых в большей степени основаны на природе самого волокна: базальтовое волокно является продуктом тепловой обработки горной породы типа базальт, обладающим высокими прочностными и физико-механическими характеристиками, свойственными исходной породе.

Базальтовые волокна в свою очередь делятся на две большие группы: непрерывные и дискретные волокна, имеющие существенные различия, начиная от способа производства и заканчивая областью применения. Дискретное базальтовое волокно (вата) представляет собой супертонкие волокна толщиной около 3-9 мкм, применяемые в основном для производства энергоэффективных теплозвукоизоляционных материалов (матов, плит), а также в качестве самостоятельного наполнителя объемно армированных базальтовых композиционных материалов и изделий. Непрерывное базальтовое волокно (ровинг) в свою очередь имеет толщину элементарного волокна в пределах от 7 до 26 мкм, что позволяет с успехом применять его в качестве армирующего наполнителя при производстве композитов с полимерными и неорганическими матрицами, а также с органическим и минеральным связующим (бетоном, асфальтом, гипсом и т. п.).

Особый интерес при выборе армирующего компонента бетонных композитов вызывает разновидность непрерывного базальтового волокна – рубленое волокно (далее фиброволокно), получаемое методом производственной рубки из ровинга отрезков заданной длины, состоящих из множества параллельно уложенных элементарных волокон, собранных замасливателем во временные пучки (рис. 2).

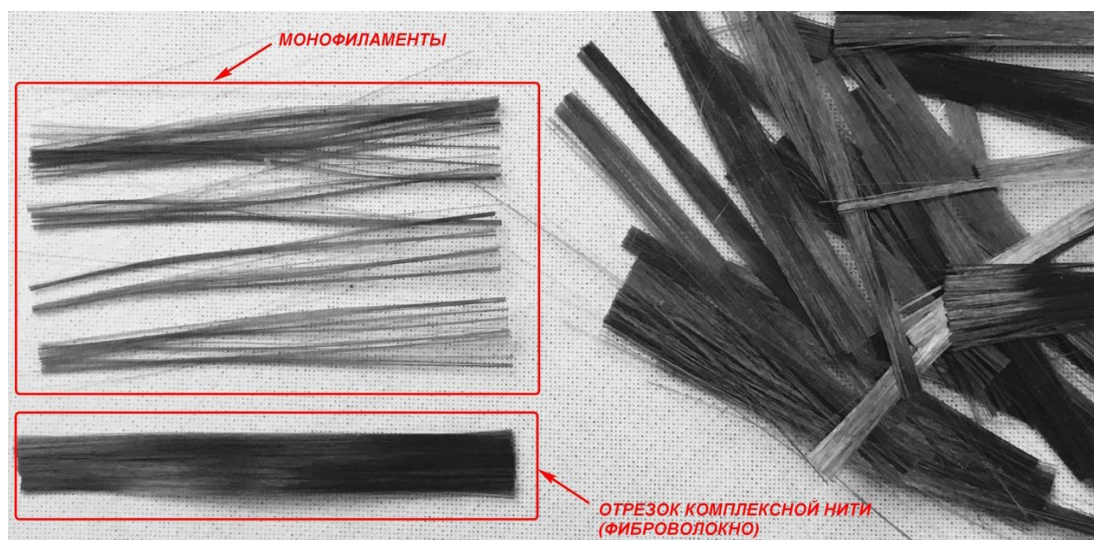


Рисунок 2 – Базальтовое фиброволокно

При соединении базальтовых фиброволокон с компонентами смеси, в процессе перемешивания эти временные пучки распадаются на отдельные монофиламенты, которые в свою очередь свободно и хаотично распределяются во всем объеме композита, вызывая так называемый эффект 3D-армирования. Таким образом, в цементном композите формируется пространственная микроармированная цементная матрица, которая, в свою очередь, эффективно противодействует сжимающим и растягивающим напряжениям, возникающим в бетоне при внешних силовых воздействиях.

Вместе с тем, необходимо отметить, что базальтовое фиброволокно имеет массу преимуществ перед другими армирующими волокнами (стальными, стеклянными, полипропиленовыми и т.п.), с успехом применяемыми в современном строительстве. Выражается это в уникальных свойствах базальтовых волокон: высоком уровне физико-механических и химических свойств, повышенной стойкости в агрессивных средах, долговечности, стабильности свойств при длительной эксплуатации в различных условиях, хорошей адгезии к различным связующим и т.п. Также базальтовые волокна обладают высокими конструкционными, теплозвукоизоляционными, диэлектрическими и другими свойствами, позволяющими широко использовать их в различных отраслях промышленности.

Однако, при решении вопросов дисперсного армирования цементных композитов базальтовым волокном, по-прежнему нет единого мнения о его способности противостоять воздействиям среды гидратирующих цементов, являющейся достаточно агрессивной по отношению ко всем видам волокон, особенно минеральных. В своих работах группа авторов во главе с Бабаевым В.Б [3, с. 65] говорят о достаточно высокой степени разрушения, а в некоторых случаях, вообще о растворении базальтовых волокон в щелочной среде, однако, необходимо отметить, что речь здесь идет о штапельном базальтовом волокне, конечные характеристики которого напрямую зависят от способа его производства. Штапельное волокно получают методом выдувания из расплава, в результате чего получают супертонкие волокна с развитой поверхностью и наличием нежелательных дефектов (пор и микротрещин) на поверхности самого волокна, способствующих быстрому протеканию процессов адсорбции агрессивной среды, что в дальнейшем ведет к снижению прочности волокна в целом, а в некоторых случаях к разрушению. Подтверждение непригодности штапельного базальтового волокна для дисперсного армирования цементных бетонов также нашло место в работах Боровских И.В. [4, с. 49]. Вместе с тем, он утверждает, что базальтовое волокно полученное методом вытягивания из расплава через фильеру, незначительно теряет свою прочность в щелочной среде гидратирующих цементов и не влияет на прочность всего фиброармированного композита. Таким образом, разница этих двух видов волокон, заключается в том, что базальтовое волокно получаемое вытягиванием, обладает более гладкой поверхностью, что хорошо видно на микрофотографии комплексной нити базальтового фиброволокна (рис. 3) в меньшей степени, обладающей наличием таких дефектов, как поры и микротрещины.

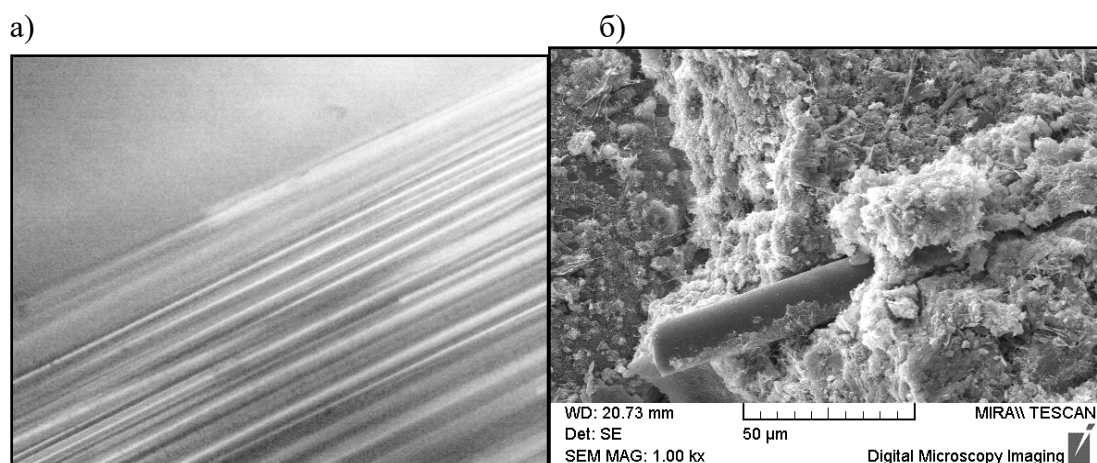


Рисунок 3 – Микрофотография базальтового фиброволокна:

а) комплексная нить (фиброволокно)

б) элементарное волокно в цементном камне

Необходимо отметить, что на сегодняшний момент существует целый ряд исследований отечественных и зарубежных ученых, подтверждающих перспективность использования базальтового волокна для дисперсного армирования бетонов [1,2,4], но в тоже время существует довольно много работ исследователей, ставящих под сомнение способность базальтового волокна сопротивляться щелочным средам цементных систем [3].

Противоречивость результатов исследований связана со многими факторами, в особенности с использованием различных методик при изучении данного вопроса, отличием в химических составах базальтовых волокон и т.п. Даже в условиях противоречивости данных о стойкости базальтовых волокон в цементных системах, в настоящее время разрабатываются различные способы и методы его защиты от разрушения в щелочной среде.

На сегодняшний день наиболее эффективным способом защиты базальтового волокна в среде гидратирующих цементов является снижение щелочности (рН) данной среды до допустимых пределов. Достичь этого возможно как минимум двумя способами: - введением добавок различной природы и дисперсности; - выбором оптимального типа цемента. Таким образом, на основании собственных исследований в данной области, наиболее эффективным способом снижения уровня рН среды до допустимых пределов, и, соответственно, повышения стойкости базальтового волокна в цементных системах является применение напрягающих цементов (НЦ).

Экспериментальным путем в лабораторных условиях получен напрягающий цемент, состоящий из портландцемента и расширяющейся добавки, представленной высокоактивным метакаолином (ВМК) и природным гипсом. Процентное соотношение компонентов напрягающего цемента следующее: ПЦ:ВМК:Г=71:14:15.

Применение напрягающего цемента в свою очередь решает ряд следующих задач: - частичное снижение или полное исключение усадочных деформаций бетона; - повышение тепло-, газо-, водонепроницаемости бетонного композита и др.

Благодаря применению в качестве одного из компонентов расширяющейся добавки высокоактивного метакаолина, обладающего высокой пуццолановой активностью, в цементной системе наблюдается снижение содержания СаО и соответственно снижение рН среды, что говорит о создании более благоприятных условиях, позволяющим базальтовым волокнам сохранить свои высокие прочностные характеристики [4, с. 60].

Как было отмечено ранее, эффективность применения напрягающего цемента (далее НЦ) в качестве вяжущего вещества для бетонных композитов, заключается не только в уменьшении щелочности среды гидратирующих цементов, но и в решении главного недостатка цементных бетонов – развитии усадочных деформаций бетона, развивающихся как во время гидратации, так и в процессе эксплуатации конструкции.

В ходе экспериментальных исследований был получен оптимальный состав напрягающего цемента с высокими значениями свободных и связанных деформаций, что позволяет с успехом применять его во многих отраслях строительства, в особенности при строительстве и ремонте гидротехнических сооружений.

Вместе с тем, необходимо отметить, что применение базальтового волокна в качестве армирующего компонента бетонных композитов, влияя на повышение прочностных характеристик (прочности на растяжение при изгибе), также оказывает определенное воздействие на процессы развития относительных деформаций напрягающего бетона.

На рисунке 4 представлено графическое изображение процесса роста свободных деформаций контрольных образцов двух серий:

Серия А – цементно-песчаные образцы на основе напрягающего цемента;

Серия В – цементно-песчаные образцы на основе НЦ, дисперсно армированные базальтовым фиброволокном (5 % от массы вяжущего).

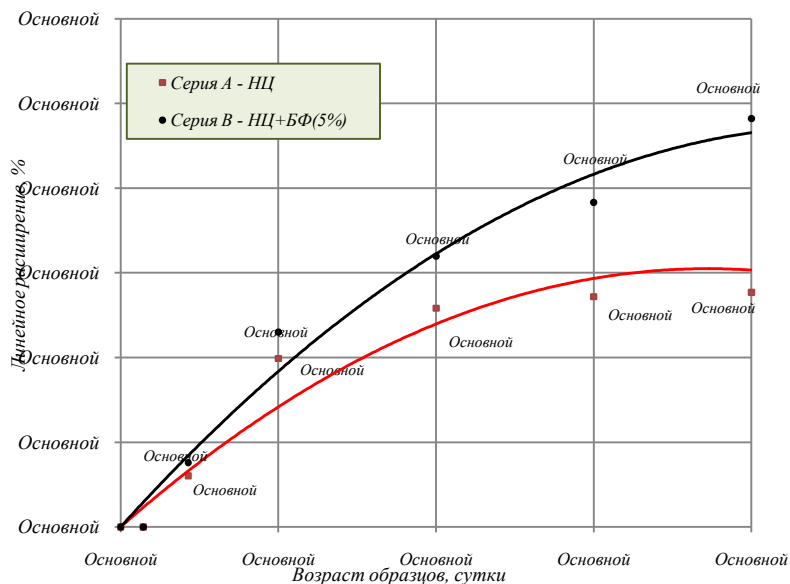


Рисунок 4 –Процесс развития линейного расширения за 28 суток

В результате обработки полученных данных, величина линейного расширения образцов-призм серии А в возрасте 28 суток составила – 0,96 %. Что касается значения линейного расширения образцов-призм серии В (с армированием базальтовым фиброволокном в количестве 5% от массы вяжущего), то в возрасте 28 суток оно составило – 0,55 %. Полученные значения величин свободных деформаций композита находятся в допустимых пределах, приведенных в СТБ 1335 [5], а именно согласно нормативному документу линейное расширение напрягающего цемента должно быть не менее 0,05 и не более 2,0 %.

Таким образом, применение базальтового фиброволокна ограничивает рост развития свободных деформаций цементных композитов, что связано со структурированием смеси, заключающимся в объемном распределении моноволокон в цементной матрице и созданием, так называемого пространственного каркаса, повышающего внутреннее трение и ограничивающего перемещение составляющих матрицы. Вместе с тем, данные, полученные в ходе исследований, направленные на выявление степени влияния базальтового фиброволокна на прочностные характеристики бетонных композитов, позволяют с большой уверенностью говорить о целесообразности применения данного волокна в качестве армирующего компонента цементных бетонов.

Средние значения прочности контрольных образцов на растяжение при изгибе серий А и В на основе напрягающего цемента, полученные в ходе исследований приведены в виде гистограмм (рисунок 5).

По полученным данным, видно, что армирование цементной смеси базальтовым фиброволокном в количестве 5 % от массы вяжущего, повышает значение прочности на растяжение при изгибе примерно на 120 %.

Увеличение прочностных показателей напрягающего цемента обусловлено целым рядом причин: - природой и структурой базальтовой фибры, - равномерным распределением волокна в теле цементной матрицы, - созданием пространственного каркаса и т.п.

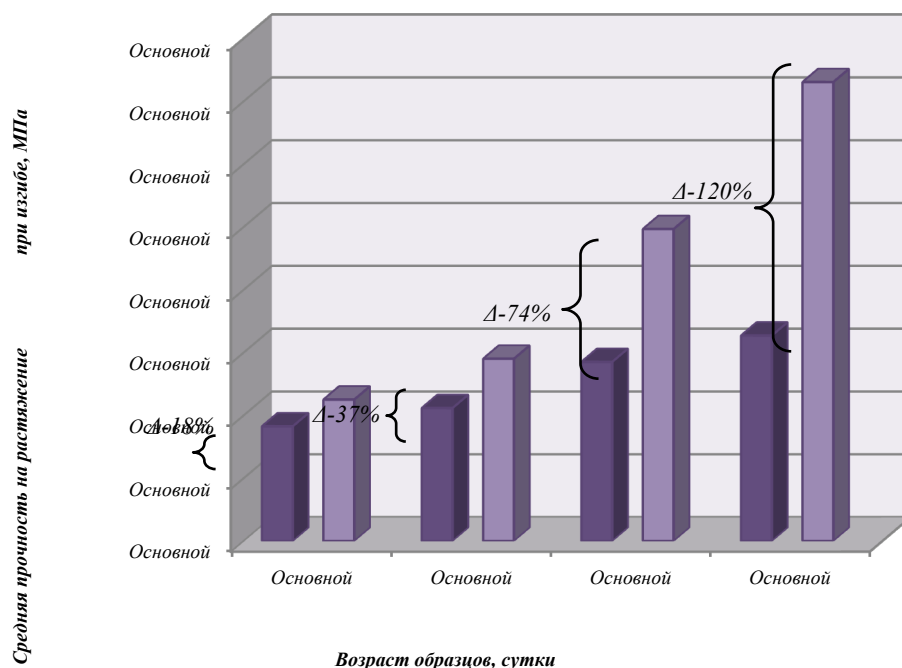


Рисунок 5 – Прочностные характеристики опытных образцов на растяжение при изгибе

Заключение:

1. Дисперсное армирование цементных систем базальтовым волокном ведет к созданию жесткого пространственного каркаса, за счет свободного и хаотичного распределения элементарных волокон в теле композита, что позволяет противостоять разрушающим напряжениям, приводящим к образованию сквозных или поверхностных трещин;

2. Эффективным способом создания благоприятных условий, позволяющих сохранить прочностные характеристики базальтовой фибры в цементных композитах, является применение напрягающего цемента на основе расширяющейся добавки сульфоалюминатного типа;

3. Ведение базальтового фиброволокна в расширяющиеся цементные системы приводит к частичному ограничению собственных деформаций композитов, при этом за счет высокой адгезии с модифицированной цементной матрицей приводит к повышению прочности на растяжение при изгибе.

4. Применение базальтовой фибры (БФ) совместно с напрягающим цементом (НЦ) позволяет добиться не только роста прочностных характеристик напрягающих бетонов, но также ведет к повышению непроницаемости

5. Для нейтрализации эффекта частичного разуплотнения в высокоактивных напрягающих бетонах в качестве армирующего компонента следует использовать базальтовую фибру, создающую эффект 3D- армирования и позволяющую использовать химическое преднапряжение.

Список источников

1. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография – М.: Издательство АСВ, 2004. – 560 с.

2. Беломесова, К. Ю. Применение базальтовой фибры в качестве армирующего компонента в цементно-песчаных композитах // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства : сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: В. Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2016. – С. 74 – 77.

3. Бабаев, В. Б. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе // Вестник Белгородского госуд. технолог. университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – №2. – С.63–66.

4. Боровских, И. В. Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Боровских Игорь Викторович; [Место защиты: Казан. гос. архитектур.-строит. ун-т] – Казань, 2009. – 168 с. – Библиогр.: с. 146–163.

5. Цемент напрягающий. Технические условия: СТБ 1335-2002. – Введ. 01.01.2003 – Мн.: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.

ЩЕЛОЧНАЯ РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ БЕЛОРУССКОЙ ГРЭС

Парфенова Л. М., Разуева Е.А.

Введение. Увеличение в Республике Беларусь количества теплоэлектростанций, работающих на местных видах топлива, в частности на торфе и древесной щепе, делает актуальным для нашей республики решение вопросов, связанных с утилизацией образующихся золошлаковых отходов. Установлено [1], что золошлаковая смесь, образующаяся на Белорусской ГРЭС г.п. Ореховск Витебской области при сжигании древесной щепы (50%) и торфа (50%) может использоваться в качестве сырья для получения геополимерного вяжущего. При использовании в качестве щелочного активатора гидроксида натрия в количестве 18% прочность на сжатие геополимерного камня составила 4 МПа. Повышение реакционной способности геополимерного вяжущего может быть достигнуто за счет применения механической активации.

Рассматривая механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья, авторы работы [2] приводят три модели для объяснения механохимических реакций: тепловую, теория короткоживущих активных центров и дислокационную. Отмечается, что в тепловой модели механизм механохимических реакций связан с активацией процессов за счет тепла, выделяющегося при трении шаров и частиц вещества. Теория короткоживущих центров активация химических процессов связана со сбросом упругой энергии в момент разрушения твердого тела, разрывом химических связей и образованием короткоживущих активных центров (радикалов с некомпенсированной валентностью). В дислокационной теории считается, что активация происходит за счет энергии выходящих на поверхность дислокаций при пластической деформации частиц измельчаемого вещества. Пластическая деформация приводит к различного рода дефектам и вызывает аморфизацию вещества.

Исследованиями [3,4] показано, что механическая активация изменяет реакционную способность вследствие аккумуляции в измельченном материале 10-30% подводимой механической энергии, изменения кристаллической структуры поверхностного слоя, повышения химической активности материала за счет увеличения удельной поверхности (Суд) частиц, аморфизации поверхности инертных кристаллов.

Удельная поверхность входит в число основных параметров вяжущих систем, от которых зависит скорость гидратации и формирования структуры и свойств, уровень прочности на разных стадиях твердения, проницаемость искусственного камня и другие показатели [5]. Цементный камень, полученный из активированного цемента отличается повышенными физико-механическими характеристиками, повышенной скоростью гидратации и, соответственно, более высокому темпу набора прочности цементного камня. В образцах цементного камня, полученных из механически активированных материалов, текстура гидратных новообразований, которые состоят в основном из гидросиликатов и заполняют поровое пространство между негидратированными частицами и кристаллами новообразований, является более плотной, чем у образцов обычного цементного камня, а пористость снижается на два порядка [6-8].

Эффективность механической активации портландцемента зависит от его исходной активности. Наиболее механоактивируемыми вяжущими являются портландцементы, имеющие гидравлическую активность 8-30 МПа [9].

Известно, что при помоле цементного клинкера до высокой удельной поверхности регулируют гранулометрический состав вяжущего материала для обеспечения высокой прочности цементного камня. Чем выше содержание в цементе фракций 3-30 мкм, тем более высокое качество вяжущего. В обычных цементах содержание данной фракции не превышает 40-50%, в высокомарочных – 55 - 65%, а в особо прочных составляет свыше 70% [10].

Установлено [11], что с увеличением удельной поверхности (Суд) активность шлаков возрастает в большей степени, чем портландцемента. В зависимости от основности шлака и вида ще-

лочных затворителей силикатных и несиликатных – при увеличении $S_{уд}$ от 200 до 600 м²/кг активность шлакощелочных вяжущих (ШЩВ) увеличивается от 30% до 3-х раз, а коэффициент фильтрации камня вяжущего уменьшается до 9-ти раз.

Анализ известных исследований показал различие в мнениях относительно величины удельной поверхности, обеспечивающей максимальную активность ШЩВ. В соответствии с ГОСТ 25592 удельная поверхность шлака для ШЩВ рекомендуется в пределах 150–300 м²/кг. В работах [12, 13] установлена эффективность помола шлака до 500–700 м²/кг и отмечается лишь то, что для ШЩВ решающее влияние на рост прочности оказывают фракции менее 5 мкм и введение в исходные порошки дополнительного количества мелких частиц с разным содержанием кристаллической фазы. По данным исследований [14, 15] удельная поверхность шлака должна составлять от 350–600 м²/кг.

Затраты энергии на измельчение золы ниже по сравнению с цементом или шлаком, что обусловлено пустотной или пористой структурой зерен золы. Установлено [2], что в составе золы-уноса гидравлически активные минералы находятся внутри капле стекла или покрыты тонким слоем стекла, затрудняющим контакт минералов с водой. При механической активации золы происходит разрушение пленок из стекла и вскрытия активной части минералов.

В этой связи определение режимов механоактивации золошлаковой смеси, образующейся на Белорусской ГРЭС г.п. Ореховск Витебской области, которые позволят повысить щелочную реакционную способность геополимерного вяжущего и обеспечат повышение прочности геополимерного камня представляет практический интерес.

Материалы и методы исследования. Для проведения экспериментальных исследований использовалась золошлаковая смесь, образующаяся при сжигании топливной смеси из 50% древесной щепы и 50 % торфа. Химический состав золошлаковой смеси (мас.%) по ГОСТ 10538-87 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав золошлаковой смеси Белорусской ГРЭС (мас.%)

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | ппп |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|
| 87.62 | 4.39 | 1.08 | 3.08 | 0.55 | 0.61 | 1.79 | 0.24 | 0.19 | <0.10 | 0.07 |

По химическому составу золошлаковая смесь состоит в основном из оксидов кремния и алюминия (более 90%). По модулю основности золошлаковая смесь относится к кислым, содержание оксида кальция составляет около 3%.

Золошлаковую смесь высушивали при температуре 120°С. В экспериментах использовалась фракция, прошедшая через сито № 008, т.е. по ГОСТ 25818 – зола-уноса (далее зола) со следующими характеристиками: насыпная плотность 960 кг/м³; истинная плотность 2100 кг/м³, удельная поверхность 1490,8 см²/г. Механическую активацию проводили на планетарной мельнице РМ 100 (RETSCH (Германия)) со скоростью вращения от 100 до 650 об/мин. Время помола варьировалось от 2 минут до 20 минут.

Удельную поверхность вяжущих материалов определяли на приборе ПСХ-12. Действие прибора основано на измерении удельной поверхности порошковых материалов методом по воздухопроницаемости и пористости уплотненного слоя порошка и соответствующие ей среднемаховые размеры частиц.

В качестве щелочного активатора использовался гидроксид натрия (NaOH) СТО 00203275-206-2007. Геополимерное вяжущее получали путем смешивания механоактивированной золы с щелочным активатором и воды в течение 10-25 минут. Из полученной пластичной массы формовали образцы кубиков с размером ребра 20 мм. Часть образцов без предварительной выдержки помещали в сушильный шкаф SNOL, где они твердели в течение 24 часов при температуре 60°С. Часть образцов предварительно выдерживали 24 часа в нормально-влажностных условиях (НВУ), а затем помещали в сушильный шкаф SNOL, где они твердели в течение 24 часов при температуре 60°С. Прочность образцов на сжатие определяли через 24 часа после температурной обработки и в возрасте 28 суток.

Основная часть. Щелочная реакционная способность механоактивированной золошлаковой смеси Белорусской ГРЭС определялась на составе с концентрацией гидроксида натрия NaOH 18% при водозольном отношении В/З=0,35, который как показано в работе [1], обеспечил наибольшие показатели прочности. Влияние времени механоактивации на значение удельной поверхности и прочность на сжатие геополимерного камня приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние механоактивации на прочность геополимерного камня

| Номер состава | Время механоактивации, мин | Удельная поверхность, см ² /г | Прочность на сжатие, МПа, через 24 ч после термообработки | Прочность на сжатие, МПа, в возрасте 28 сут после термообработки |
|---------------|----------------------------|--|---|--|
| 1 | - | 1490,8 | 3,9(4,33) | - |
| 2 | 2 | 4810,5 | 3,69(3,74) | 6,76(4,65) |
| 3 | 7 | 5945,2 | 5,29(6,74) | 7,81(6,05) |
| 4 | 13 | 6869,0 | 6,68(12,54) | 7,62(11,13) |
| 5 | 20 | 9040,3 | 10,80(20,49) | 10,79(15,03) |

Примечание: в скобках указана прочность образцов с предварительной выдержкой в течение 24 часов в НВУ.

Согласно полученным данным, в начальный момент механоактивации до 2-х минут происходит значительное увеличение удельной поверхности золы (в 3 раза). Дальнейшее ступенчатое увеличение времени помола до 7, 13, 20 минут не дает первоначального резкого скачка, значение удельной поверхности продолжает увеличиваться в 1,16-1,3 раза. Это свидетельствует об увеличении дефектности золы и, следовательно, о повышении реакционной способности.

Полученные результаты показали, что увеличение удельной поверхности с 1490,8 см²/г до 9040,3 см²/г позволяет повысить щелочную реакционную способность золы, что подтверждается увеличением прочности на сжатие геополимерного камня с 4 МПа до 20 МПа. Принимая во внимание наличие в золе более 80 % диоксида кремния, рост прочности может быть обусловлен изменением пуццолановой активности и адсорбционных свойств золы при её диспергировании. Следует отметить, что максимальное значение прочности геополимерного камня 20 МПа достигнуто после выдержки образцов в течение 24 часов в НВУ и последующей температурной обработки при 60°С в течении 24 часов. При этом установлено, что последующее твердение в течение 28 суток приводит к снижению прочности в 1,4 раза. Данный факт позволяет говорить о формировании химических соединений, наличие которых приводит к протеканию деструктивных процессов в геополимерном камне.

Выводы. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об эффективности механоактивации золы. Измельчение до удельной поверхности 9040,3 см²/г позволило повысить прочность геополимерного камня в 2,5 раза и в 5 раз соответственно при отсутствии предварительной выдержки и с предварительной выдержкой образцов в течение 24 часов до температурной обработки. Однако, при значениях удельной поверхности более 6000 см²/г предварительное выдерживание образцов в течение суток в нормально-влажных условиях запускает деструктивные процессы, которые приводят к снижению прочности геополимерного камня через 28 суток твердения. При использовании в качестве щелочного активатора золы гидроксида натрия время механоактивации на планетарной мельнице должно составлять не менее 20 мин., последующее твердение должно осуществляться при температуре 60°С в течение 24 часов.

Список источников

1. Парфенова, Л. М. Оптимизация концентрации щелочного активатора для геополимерного вяжущего / Л. М. Парфенова, Е. А. Разуева, М. Н. Высоцкая // ...: материалы Междунар. науч. конф., посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г. / Полоцкий гос. ун-т, редкол.: А. А. Бакатович, Л. М. Парфенова. – Новополоцк, 2018. – С. 236-241.
2. Аввакумов, Е. Г. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья / Е.Г. Аввакумов, А.А. Гусев – Новосибирск : Академ. изд -во «Гео», 2009. – 155 с.
3. Плотников В.В. Повышение эффективности использования зол ТЭС в бетонах / В.В. Плотников. – Брянск: БГИТА, 2009. – 130 с.
4. Павленко, С. И. Создание композиционного бесцементного вяжущего с использованием механохимических процессов / С. И. Павленко, С. И. Меркулова [и др.] // Металлургия на пороге XXI века: достижения и прогнозы: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Новокузнецк, 9-12 октября 2000 г. / СибГИУ / – Новокузнецк, 2000. – С. 118-119.
5. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества. / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат. – 1986. – 464 с.
6. Никоненко, Н. И. Повышение прочности материалов на основе портландцемента введением высокодисперсных минеральных добавок: дис. ... канд. технич. наук: 05.17.11, 05.23.05 / Н.И. Никоненко; Нац. исслед. Том. политехн. ун-т. - Новосибирск, 2014. - 122 с.
7. Будников, П.П. Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы / П.П. Будников, И.Л. Значко-Яворский. – М.: Стройиздат. – 1953. – 129 с.
8. Шоева, Т.Е. Мелкозернистые бетоны с использованием механоактивированных зол Тывы: автореф. дис. ... канд. технич. наук : 05.23.05 / Т.Е. Шоева ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск, 2012. –17 с.
9. Прокопец, В.С. Влияние механоактивационного воздействия на активность вяжущих веществ / В.С. Прокопец // Строительные материалы. –2003. – № 9 . – С. 28-29.
10. Пащенко, А.А. Теория цемента : учеб. пособие / А.А. Пащенко. – Киев: Будівельник, 1991. – 190 с.
11. Рахимов, Р.З. Роль удельной поверхности и гранулометрического состава портландцемента и шлакощелочного вяжущего в формировании их свойств/ Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова // Вестник ВРО РААСН. – 2010. –№13. – С. 97-103.
12. Глуховский В.Д. Шлакощелочные вяжущие и мелкозернистые бетоны на их основе. / В.Д. Глуховский. – Ташкент.: Узбекистан. – 1978. – 485 с.
13. Sato K. Particle size influence on slag hydration / K. Sato, E. Konishi, K. Fukaya // Tokyo. - 1985. – p.46-49.
14. Костенко-Костенчук ,В.П. Мелкозернистые бетоны на основе шлакощелочного вяжущего и заполнителей различной крупности: автореф. дис. ... канд. технич. наук : 05.23.05 / В.П. Костенко-Костенчук; КИСИ. – Киев, 1981. – 22с.
15. Ращупкина, М.А. Влияние дисперсности золы гидроудаления Экибастузских углей и добавки жидкого стекла на свойства мелкозернистого бетона: автореф. дис. ... канд. технич. наук : 05.23.05 / М.А. Ращупкина ; Сибирская гос. автомобильно-дорожная академ. – Новосибирск, 2009. – 19с.

КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ИЗ ФЛЮСОВОГО ИЗВЕСТНЯКА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Полейко Н.Л., Леонович С.Н., Пелюшкевич А.И.

Разносторонние требования к эксплуатационным качествам, области применения и физико-техническим свойствам бетонов, требованиям долговечности, а также к работе предприятий строительной индустрии в рыночных условиях расширяют область экономического использования различных видов заполнителей [1–8].

Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80 % объема и их стоимость достигает 50 % стоимости бетонных и железобетонных конструкций, становится понятным, почему изучение, правильный выбор заполнителей и их рациональное применение влияют на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, а также на технико-экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного и монолитного бетона и железобетона в целом [9–14].

В настоящее время в Беларуси в качестве крупного заполнителя для приготовления тяжелого бетона используют гранитный щебень, щебень из гравия и гравий. Гранитный щебень относится к глубинным изверженным горным породам, гравий и щебень из гравия – к осадочным.

В данной статье рассматриваются результаты испытаний тяжелых бетонов на крупном заполнителе из осадочной горной породы – известняка. Флюсовый известняковый щебень – вторичный продукт в металлургической промышленности, в частности на РУП «Белорусский металлургический завод». В технологии металлургического производства для выплавки стали применяют флюсовый известняк (известняковый щебень) фракции 5 мм и ниже. Вторичный продукт – щебень, который характеризуется содержанием зерен от 5 до 40 мм, причем количество крупных фракций существенно превосходит количество мелких. Флюсовый известняк выпускают в соответствии с требованиями ТУУ 14-16-53-2000 «Щебень из флюсового известняка». Химический состав и процентное содержание основных соединений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав и процентное содержание основных соединений

| Показатель | Содержание, масс. % |
|--|---------------------|
| Массовая доля CaO + MgO | 52,5–54,0 |
| Массовая доля MgO | 5,0 |
| Массовая доля SiO ₂ | 1,5–2,0 |
| Массовая доля S | 0,06–0,09 |
| Массовая доля P | 0,06–0,09 |
| Массовая доля нерастворимого остатка в соляной кислоте | 2,0–4,0 |

Как свидетельствуют данные, приведенные в таблице 1, флюсовый известняк представляет собой материал осадочного происхождения, состоящий преимущественно из оксидов кальция и магния. Согласно требованиям СТБ 1544–2005 «Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия», в качестве заполнителей для приготовления тяжелых бетонов могут применяться материалы из осадочных горных пород. Предварительно проведенные испытания по определению физико-механических характеристик осадочной горной породы показали, что щебень из флюсового известняка состоит преимущественно из фракции 20–40 мм. По содержанию лещадных зерен, пылевидных частиц и марке по дробимости щебень из флюсового известняка удовлетворяет требованиям согласно ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород. Технические условия». Физико-механические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики щебня из флюсового известняка

| Содержание зерен, % крупностью, мм | | | | | Насыпная плотность, кг/м ³ | Плотность в уплотненном состоянии, кг/м ³ | Плотность зерен, кг/м ³ |
|---|-------|-------|------|---------|---------------------------------------|--|------------------------------------|
| Свыше 40 | 40–20 | 20–10 | 10–5 | Менее 5 | | | |
| 8,79 | 82,47 | 8,06 | 0,36 | 0,31 | 1278 | 1430 | 2610 |
| Содержание зерен лещадной и игловатой форм – 16,3 мас. %. | | | | | | | |
| Содержание пылевидных частиц – 1,9 мас. %. | | | | | | | |
| Марка щебня по дробимости – 1000. | | | | | | | |

Для применения данного щебня в качестве крупного заполнителя требуется его обогащение мелкими фракциями, так как при данном зерновом составе он не соответствует требованиям СТБ 1544–2005 «Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия» и обладает повышенной пустотностью, что приводит к перерасходу цемента в бетонной смеси. Для обогащения известнякового щебня и получения смешанного заполнителя использовали обычный гранитный щебень и природный гравий.

С целью определения рациональной области применения известнякового щебня проводились исследования по изучению влияния данного заполнителя на прочностные и эксплуатационные свойства тяжелых бетонов. Были подобраны составы бетонов различных классов по прочности при сжатии. Результаты, полученные при испытании бетона на известняковом щебне, сравнивались с аналогичным бетоном, изготовленным на гранитном щебне. Для получения сопоставимых данных искусственно подбирали фракционный состав гранитного щебня до появления кривой просеивания, аналогичной смешанному заполнителю.

Содержание отдельных фракций в смешанном крупном заполнителе, гранитном щебне и гравии представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание отдельных фракций в смешанном крупном заполнителе, гранитном щебне и гравии

| Наименование заполнителя | Содержание фракций (известняка, гранита и гравия) в крупном заполнителе, % | | | | | | | | |
|--------------------------|--|-------|-------|------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | Щебень из флюсового известняка | | | Гранитный щебень | | | Гравий | | |
| | 5–10 | 10–20 | 20–40 | 5–10 | 10–20 | 20–40 | 5–10 | 10–20 | 20–40 |
| Смешанный | – | – | 50 | 20 | 30 | – | – | – | – |
| Гранитный | – | – | – | 20 | 30 | 50 | – | – | – |
| Гравий | – | – | – | – | – | – | 20 | 30 | 50 |

Расход цемента в бетонной смеси варьировался от 250 до 450 кг на 1 м³, водоцементное отношение – от 0,4 до 0,6. Составы бетона приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Составы бетона

| № состава | Расход составляющих, кг на 1 м ³ бетонной смеси | | | | | В/Ц |
|-----------|--|-------|-----------------------|------------------|--------|-----|
| | Цемент | Песок | Смешанный заполнитель | Гранитный щебень | Гравий | |
| 1 | 250 | 785 | 1200 | – | – | 0,6 |
| 2 | 350 | 745 | 1150 | – | – | 0,5 |
| 3 | 450 | 745 | 1100 | – | – | 0,4 |
| 4 | 250 | 780 | – | 1200 | – | 0,6 |
| 5 | 350 | 745 | – | 1150 | – | 0,5 |
| 6 | 450 | 740 | – | 1100 | – | 0,4 |
| 7 | 350 | 750 | – | – | 1150 | 0,5 |

При подборе состава бетона использовали песок с $M_k = 2,51$ и портландцемент ПЦ-500 Д20 ОАО «Красносельскстройматериалы».

Для исследований в лабораторных условиях изготавливались опытные образцы, которые твердели в нормально-влажностных условиях и подвергались испытанию в возрасте 28 сут.

Прочность бетонов при сжатии и растяжение при раскалывании определяли на образцах-кубах с ребром 15 см. Результаты испытаний по определению прочности при сжатии и растяжении при раскалывании представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний по определению прочности при сжатии и растяжении при раскалывании

| № состава | Предел прочности*, МПа, в возрасте 28 сут. | |
|-----------|--|-----------------------------|
| | при сжатии | растяжение при раскалывании |
| 1 | 23,7/26,2 | 1,5/1,9 |
| 2 | 33,0/36,4 | 2,4/2,8 |
| 3 | 44,3/51,1 | 2,7/3,1 |
| 4 | 22,7/25,8 | 1,4/2 |
| 5 | 33,4/37,1 | 2,5/2,7 |
| 6 | 46,7/49,5 | 2,8/3 |
| 7 | 28,2/31,5 | 1,7/2,2 |

Примечание. * Значения минимального и максимального пределов прочности, полученных при испытаниях.

Экспериментальные данные (таблица 5) показывают, что бетон на смешанном заполнителе по прочностным показателям не отличается от обычного бетона, изготовленного на гранитном щебне. Смешанный заполнитель, состоящий из зерен, имеющих более развитую поверхность, превосходит по прочностным показателям бетон, изготовленный с использованием гравия, зерна которого имеют окатанную поверхность.

Немаловажное значение имеет исследование заполнителя на соответствие эксплуатационным характеристикам бетонов, к которым относятся показатели, косвенно характеризующие долговечность материала, а именно: способность бетона противостоять воздействию знакопеременной температуры (морозостойкость), способность бетона противостоять проникновению различных агрессивных веществ (водонепроницаемость), а также защищать стальную арматуру в течение длительного срока эксплуатации (защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре) [15].

Для оценки морозостойкости и водонепроницаемости бетона, изготовленного с использованием заполнителя из флюсового известняка, готовились основные образцы на смешанном заполнителе и контрольные – на гранитном щебне. Образцы формовали из составов бетона с расходом цемента 250, 350 и 450 кг на 1 м³ при В/Ц = 0,6; 0,5 и 0,4. Морозостойкость и водонепроницаемость определяли по методике согласно ГОСТ 10060.1–95 «Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости» и ГОСТ 12730.5–84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости». Результаты испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6. - Морозостойкость и водонепроницаемость образцов, изготовленных на смешанном заполнителе и гранитном щебне

| Вид заполнителя | Расход цемента | В/Ц | Водопоглощение, мас. % | W, МПа | F, циклы |
|-----------------|----------------|-----|------------------------|--------|----------|
| Смешанный | 250 | 0,6 | 7,2 | 0,2 | 75 |
| Гранитный | 250 | 0,6 | 7,7 | 0,2 | 75 |
| Смешанный | 350 | 0,5 | 5,8 | 0,4 | 100 |
| Гранитный | 350 | 0,5 | 6,3 | 0,4 | 100 |
| Смешанный | 450 | 0,4 | 4,2 | 0,6 | 150 |
| Гранитный | 450 | 0,4 | 4,6 | 0,6 | 150 |

Данные таблице 6 свидетельствуют о том, что известняковый щебень не влияет на такие свойства бетона, как морозостойкость и водонепроницаемость. Незначительное различие в показателе водопоглощения образцов на смешанном и гранитном щебне может быть вызвано снижением капиллярной пористости цементного камня при использовании смешанного заполнителя. Капиллярная пористость цементного камня в бетоне определяется истинным водоцементным отношением, которое зависит от способности заполнителя поглощать часть воды при затворении бетонной смеси. По опытным данным, количество воды, поглощаемое зернами известнякового щебня при прочих равных условиях, на 40 % выше, чем количество воды, поглощаемое зернами гранитного щебня.

Таким образом, при использовании в качестве крупного заполнителя щебня из флюсового известняка при прочих равных условиях создается возможность для снижения капиллярной пористости цементного камня. Однако, как свидетельствуют результаты испытаний, это не оказывает ощутимого влияния на повышение морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

Поскольку, как было показано выше, в материале щебня из флюсового известняка в незначительном количестве присутствуют соединения серы и фосфора, вполне естественным является изучение влияния данного заполнителя на защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. Оценку защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре проводили по методике согласно СТБ 1168–99 «Бетоны. Метод контроля коррозионного состояния стали в бетоне и защитных свойств». Состав бетона на смешанном заполнителе для проведения исследований принимался согласно СТБ 1168–99. Для сравнения были выбраны образцы бетона, изготовленного с использованием гранитного щебня. В качестве рабочего электрода использовали арматуру класса S240. Результаты испытаний представлены в таблице 7.

Согласно данным таблице 7 и требованиям, приведенным в СТБ 1168–99, сталь в образцах на смешанном заполнителе (щебень из флюсового известняка + гранитный щебень) находится в пассивном состоянии. Следовательно, на начальном этапе (до воздействия эксплуатационной среды) бетон на щебне из флюсового известняка обладает достаточными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре.

Таблица 7 — Результаты потенциостатических исследований

| Показатель | Требования нормативного документа | Фактическое значение |
|--|-----------------------------------|----------------------|
| Установившийся потенциал, мВ | – | –310/–324* |
| Плотность тока при потенциале +300 мВ, мкА/см ² | До 10,0 | 1,21/1,56* |
| Потенциал разрушения пассивной пленки, мВ | – | +550/+630* |
| Примечание. * Значение показателей для образцов на смешанном заполнителе. | | |

В рамках выполненных исследований были разработаны и прошли опытную апробацию составы бетонных смесей с использованием щебня из флюсового известняка, подобраны бетонные смеси и разработаны рекомендации по применению флюсового известняка при производстве железобетонных изделий.

Выводы. Применение известнякового щебня в качестве крупного заполнителя возможно путем его обогащения, т.е. приведения его зернового состава в соответствие с требованиями нормативной документации.

1. Щебень из флюсового известняка не влияет на прочностные показатели бетонов, а также не оказывает отрицательного влияния на морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

2. Бетон на заполнителе из флюсового известняка обладает достаточными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре (сталь находится в пассивном состоянии).

Список источников

1. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е., Аминов В.Н. Оценка технологических возможностей управления качеством щебня при дезинтеграции строительных горных пород / *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 30–34.

2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 368 с.

3. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е. Исследование структуры порового пространства гнейсогранита методом рентгеновской компьютерной микротомографии / *Обогащение руд*. 2013. – № 3. – С. 37-41.

4. Олейник П.П., Олейник С.П. Организация системы переработки строительных отходов. М.: МГСУ, 2009. 251 с.

5. Ильичев В.А., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности / *Строительные материалы*. – 2011. – № 4. – С. 36-42.

6. Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко С.И., Горшкова И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве / Под ред. В.С. Горшкова. М.: Стройиздат, 1985. 272 с.

7. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // *Строительные материалы*. 2012. – № 10. – С. 55–56.

8. Полейко Н.Л., Леонович С.Н. Физико-механические показатели бетона на кубовидном щебне / *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 13–16.

9. Пучин К.Г. Вопросы экологии использования твердых отходов черной металлургии в строительных материалах / *Строительные материалы*. 2012. – № 8. – С. 54–56.

10. Юшков Б.С., Семенов С.С. Металлургические шлаки в производстве железобетонных свай, эксплуатирующихся в неагрессивной среде / *Строительные материалы*. 2012. – № 12. – С. 14–15.

11. Петров В.П., Токарева С.А. Пористые заполнители из отходов промышленности / *Строительные материалы*. 2011. № 11ю С. 46–50.

12. Старчуков Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы / *Бетон и железобетон*. 2011. № 4. С. 22–24.

13. Загер И.Ю., Яшинькина А.А., Андропова Л.Н. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого автономного округа / *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 84–86.

14. Добшиц Л.М., Магомедэминов И.И. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов / *Бетон и железобетон*. 2012. № 4. С. 16–19.

15. Корнеева Е.В. Исследования шлаков сталеплавильного производства с целью вторичного использования / *Строительные материалы*. 2012. № 8. С. 62–63.

ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ НА КУБОВИДНОМ ЩЕБНЕ КОНСТРУКЦИОННОГО БЕТОНА

Полейко Н.Л., Леонович С.Н, Пелюшкевич А.И.

Основным материалом для возведения разнообразных строительных конструкций, в том числе и сборных, является бетон. Название бетона зачастую связывают с видом используемых заполнителей, которые занимают в бетоне до 80 % объема, а их стоимость достигает 30...50 % стоимости бетонных и железобетонных конструкций. Поэтому изучение и правильный выбор заполнителя имеет важное значение для получения бетона с требуемыми физико-механическими показателями.

Одна из характеристик заполнителей – форма их зерен. В нормативных документах ее принято характеризовать определенными терминами.

Щебень узких фракций – дробленый каменный материал с размером зерен, соответствующим стандартным ситам с круглыми отверстиями диаметром от 2,5 до 20 мм, разделенный на фракции диапазоном 2,5 или 5 мм.

Щебень кубовидный – щебень узких фракций с содержанием зерен кубовидной формы не менее 50 % по массе и содержанием зерен пластинчатой и игловатой форм не более 15 % по массе.

Щебень кубовидный мелкий – щебень кубовидный с размером зерен от 2,5 до 5 мм.

Зерна кубовидной формы – зерна щебня с околотовой поверхностью в форме призмы или многогранника, толщина и ширина которых меньше длины не более чем в 2 раза.

Щебень из плотных горных пород – минеральный зернистый сыпучий материал, получаемый дроблением массивных изверженных (магматических) интрузивных горных пород (гранит, диорит, габбро и др.) со средней плотностью от 2,5 до 3,0 г/см³.

Щебень кубовидный выпускают в виде следующих основных фракций, мм (по ситам с круглыми отверстиями): от 2,5 до 5; св. 5 до 7,5; св. 5 до 10; св. 7,5 до 12,5; св. 10 до 15; св. 12,5 до 17,5; св. 15 до 20.

Соответствие размеров фракции щебня по ситам с круглыми отверстиями и зерен щебня по ситам с квадратными отверстиями приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Соответствие размеров фракции щебня по ситам с круглыми отверстиями и зерен щебня по ситам с квадратными отверстиями

| Диаметр отверстия контрольного сита с круглыми ячейками из стандартного набора сит для щебня, мм | Соответствующий размер зерен щебня по ситам с квадратными ячейками, мм |
|--|--|
| 2,5 | 2 |
| 5 | 4 |
| 7,5 | 6,3 |
| 10 | 8 |
| 12,5 | 10 |
| 15 | 12 |
| 17,5 | 14 |
| 20 | 16 |

Зерна кубовидного щебня влияют на плотность упаковки заполнителя в объеме. Многочисленными экспериментальными данными доказано, что наиболее плотная укладка достигается в заполнителе, содержащем зерна в виде различных правильных многогранников [1–4].

Таблица 2 – Классификация щебня в зависимости от содержания зерен

| Сорт кубовидного щебня | Содержание зерен кубовидной формы, масс. %, не менее | Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, масс. %, не более | Содержание пылевидных и глинистых частиц, мас. %, не более |
|------------------------|--|--|--|
| I | Свыше 65 до 100 вкл. | До 8 вкл. | До 0,5 вкл. |
| II | Свыше 50 до 100 вкл. | До 15 вкл. | До 10 вкл. |

Кубовидный щебень по форме зерен позволяет получать большую плотность упаковки по сравнению с обычным щебнем, так как, во-первых, содержит малое количество зерен пластинчатой и игловатой формы и, во-вторых, характеризуется содержанием зерен кубовидной формы (соотношение толщины (ширины) к длине 1:2 и менее). В зависимости от качества кубовидного щебня содержание таких зерен в нем колеблется от 50 до 65 % по массе, согласно СТБ 1311-2002 «Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия».

Представляет интерес исследование основных физико-механических характеристик бетона на кубовидном щебне, поскольку в настоящее время данный вид заполнителя используется в основном в дорожном строительстве для устройства оснований под автомобильные дороги.

Предварительно в лабораторных условиях были проведены испытания по определению физико-механических свойств двух фракций кубовидного щебня. Результаты испытаний по определению зернового состава приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний по определению физико-механических свойств

| Наименование щебня (НД) | Частные остатки на ситах, % | Полные остатки, % | Требования НД |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------|
| Кубовидный фр. 2–4 мм | 1,25–5,4 | 98,9 | 98–100 |
| | 2,5–86 | 93,5 | 95–100 |
| | 5–7,5 | 7,5 | до 10 |
| | 7,5–0 | 0 | Не допускается |
| Кубовидный фр. 6,3–10 | 5–8,5 | 99,2 | 95–100 |
| | 7,5–24,6 | 90,7 | 90–100 |
| | 10–64,3 | 66,1 | 30–80 |
| | 12,5–1,8 | 1,8 | до 10 |
| | 15–0 | 0 | Не допускается |

Марку по дробимости крупного заполнителя определяли по степени разрушения пробы материала при сжатии в цилиндре при нормируемой нагрузке. Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний по дробимости крупного заполнителя

| Наименование щебня | Потеря массы при испытаниях на дробимость, % | Марка щебня по дробимости |
|-----------------------|--|---------------------------|
| Кубовидный фр. 2-4 | 9,2 | 1400 |
| Кубовидный фр. 6,3-10 | 11,5 | 1400 |

Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы определяли по ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний», а содержание зерен кубовидной формы определяли по СТБ 1311-2002 «Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия». Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний по содержанию зерен

| Наименование щебня (НД) | Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, % | Содержание зерен кубовидной формы, % |
|-------------------------|--|--------------------------------------|
| Кубовидный фр. 2-4 | 2,1 | 86,2 |
| Кубовидный фр. 6,3-10 | 5,0 | 80,7 |

Насыпную плотность, среднюю плотность зерен крупного заполнителя и содержание зерен слабых пород определяли по ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». Результаты испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Определение насыпной плотности, средней плотности зерен крупного заполнителя и содержания зерен слабых пород

| Наименование щебня (НД) | Насыпная плотность, кг/м ³ | Средняя плотность зерен, кг/м ³ | Содержание зерен слабых пород, % |
|-------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| Кубовидный фр. 2-4 | 1320 | 2580 | 2,2 |
| Кубовидный фр. 6,3-10 | 1390 | 2580 | 1,6 |

Целью экспериментальных исследований являлось получение сравнительных показателей основных физико-механических характеристик бетона, изготовленного с использованием обычного и кубовидного щебня. Исследования проводились на восьми составах бетонной смеси. Использовались следующие фракции заполнителей: 5–10; 10–15; 15–20 мм и смеси фракций в соотношении 40 % фракции 5–10 мм и 60 % фракции 15–20 мм. Образцы для проведения испытаний готовились в лабораторных условиях; перед испытанием хранились в нормально-влажностной среде; подвергались испытаниям в возрасте 28 сут. Определяли следующие показатели: прочность при сжатии, прочность при растяжении при раскалывании, водопоглощение, водонепроницаемость и морозостойкость (по коэффициенту воздухопроницаемости). Перед формованием образцов для проверки правильности подобранных составов бетонных смесей определяли среднюю плотность бетонной смеси. Результаты испытаний представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Определение средней плотности бетонной смеси

| № состава | Наименование и фракционный состав заполнителя | Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³ |
|-----------|---|---|
| 1 | Обычный фр. 5–10 мм | 2410 |
| 2 | Кубовидный фр. 5–10 мм | 2430 |
| 3 | Обычный фр. 10–15 мм | 2380 |
| 4 | Кубовидный фр. 10–15 мм | 2390 |
| 5 | Обычный фр. 15–20 мм | 2405 |
| 6 | Кубовидный фр. 15–20 мм | 2420 |
| 7 | Обычный фр. 5–20 мм | 2400 |
| 8 | Кубовидный фр. 5–20 мм | 2430 |

Данные таблицы 7 показывают, что кубовидный щебень в бетонной смеси укладывается более плотно, чем обычный щебень, что отражается на изменении средней плотности бетонной смеси и, как следствие, на уменьшении выхода бетона в плотном теле. Различие в изменении средней плотности бетонной смеси зависит, во-первых, от фракционного состава заполнителя, а также от характеристик состава (соотношение растворной составляющей и крупного заполнителя, водоцементное отношение, удобоукладываемость и т.д.).

Наряду с такими характеристиками крупного заполнителя, как прочность, величина сцепления цементного камня с поверхностью зерен и т.д., на изменение прочностных показателей бетона оказывает влияние пустотность заполнителя в уплотненном состоянии. С одной стороны, чем она меньше, тем меньше требуется цементного теста для заполнения пустот и тем выше при равных расходах цемента должна быть прочность. С другой стороны, чем меньше пустотность заполнителя, тем выше средняя плотность затвердевшего бетона, а поскольку существует связь между плотностью и прочностью материала, следовательно, выше будет и

прочность самого бетона. Результаты испытаний по определению прочности на сжатие и растяжение при раскалывании приведены на рисунке 1.

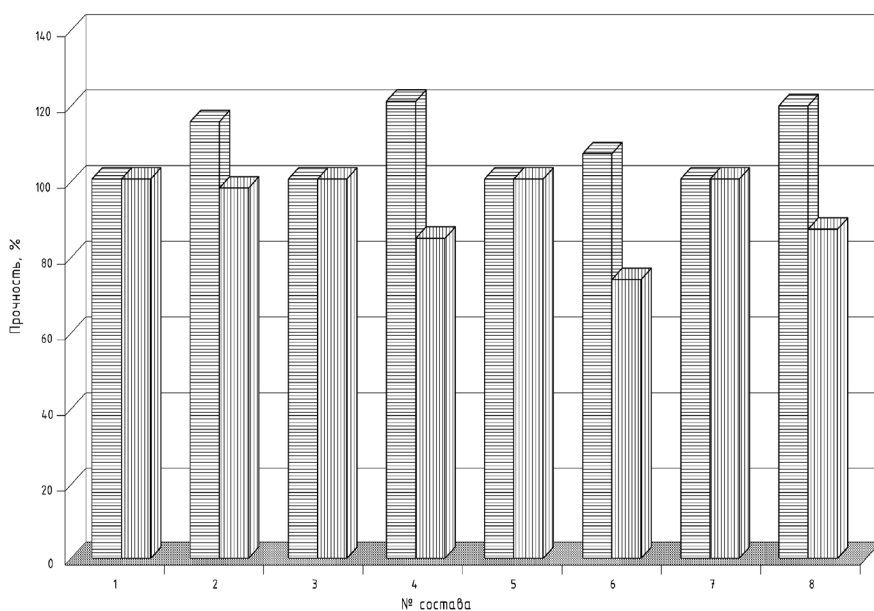


Рисунок 1 – Прочность при сжатии и на растяжение при раскалывании образцов на обычном и кубовидном щебне:
 ≡ – при сжатии;
 ||| – при растяжении

Данные, приведенные на рисунке, свидетельствуют о том, что кубовидный щебень наряду с повышением прочности при сжатии уменьшает сопротивление бетона разрушению при раскалывании. Исследования по определению влияния зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы на прочность бетона при растяжении показали, что при увеличении содержания данных зерен сопротивление бетона растяжению возрастает. Можно предположить, что снижение прочности на растяжение при раскалывании вызвано формой зерен кубовидного щебня (низкое содержание зерен пластинчатой и игловатой формы). Прочность при сжатии бетонных образцов на кубовидном щебне возрастает в среднем примерно на 25–30 %, а прочность при растяжении при раскалывании уменьшается на 5–12 %.

Увеличение прочности при сжатии также определяется гранулометрическим составом крупного заполнителя и характеристиками состава бетонной смеси. Не вполне ясной является зависимость сопротивления бетона растяжению при раскалывании от гранулометрического состава крупного заполнителя.

К весьма важным характеристикам качества бетонов относятся эксплуатационные показатели, такие как водонепроницаемость и морозостойкость, которые определяли согласно ГОСТ 12730.5–84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости» и ГОСТ 10060.2–95 «Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании». Для первоначальной оценки эксплуатационных показателей определяли водопоглощение образцов, поскольку оно является косвенной характеристикой водонепроницаемости и морозостойкости бетона. Показатели оценивали по ГОСТ 12730.3–78 «Метод определения водопоглощения» на приборе типа «АГАМА-2р». Результаты по определению водопоглощения, коэффициента сопротивления воздухопроницаемости и ожидаемая морозостойкость и водонепроницаемость образцов восьми составов приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты по определению водопоглощения, коэффициента сопротивления воздухопроницаемости и ожидаемой морозостойкости и водонепроницаемости образцов

| № состава | Водопоглощение, масс. % | Коэффициент сопротивления воздухопроницаемости, с/см ³ | Морозостойкость, цикл | Водонепроницаемость, МПа |
|-----------|-------------------------|---|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 5,3 | 7,3 | 150 | 0,6 |
| 2 | 4,7 | 8,8 | 150 | 0,6 |
| 3 | 4,4 | 10,2 | 200 | 0,8 |
| 4 | 4,4 | 10,5 | 200 | 0,8 |
| 5 | 4,8 | 9,8 | 200 | 0,8 |
| 6 | 4,1 | 12,6 | 200 | 0,8 |
| 7 | 6,2 | 6,2 | 100 | 0,4 |
| 8 | 4,9 | 9,3 | 150 | 0,6 |

Данные таблице 8 позволяют сделать вывод, что использование кубовидного щебня не влияет на морозостойкость и водонепроницаемость бетона. Незначительное различие в показателях водопоглощения и коэффициента сопротивления воздухопроницаемости вызвано нормальной погрешностью при определении контролируемых показателей.

Выводы. На основании результатов экспериментальных исследований рациональной областью применения кубовидного щебня можно считать его использование для изделий и конструкций, работающих в условиях центрального и внецентренного сжатия.

Список источников

1. Старчуков Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы // *Бетон и железобетон*. 2011. № 14. С. 22–24.
2. Загер И.Ю., Яшинкина А.А., Андропова Л.Н. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого автономного округа // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 84–86.
3. Добшиц Л.М., Магомедэминов И.И. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов // *Бетон и железобетон*. 2012. № 4. С. 16–19.
4. Петров В.П., Токарева С.А. Пористые заполнители из отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 46–50.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ УГЛЕРОДОМ

Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Коледа Е.А., Будревич Н.А.

Введение. Одним из актуальных направлений в современном материаловедении является возможность управления структурой материала на стадии его изготовления с использованием наносистем. Структурирование вяжущих матриц углеродными нанотрубками показало высокую эффективность модификации [1]. Кроме того, технология бетона подразумевает обязательное использование эффективных добавок, в том числе, добавок различной природы модифицированных углеродными наноструктурами с целью повышения их результативности [2]. Одним из факторов, повышающих характеристики цементного бетона, является структурная модификация гидросиликатов кальция относительно композиции и морфологии новообразований [3,4].

В представленной работе в качестве модификаторов структуры использовались: пластифицирующая добавка «АРТ-КОНКРИТ Р на основе наноструктурированного углерода, расширяющая сульфоалюминатная добавка и микрокремнезем конденсированный МКУ-85. Используемая пластифицирующая добавка позволила улучшить технологические свойства бетонной смеси, а также повысить водонепроницаемость, морозостойкость бетона и прочность на сжатие бетона по сравнению с образцом, не содержащую данную добавку.

Методика экспериментальных исследований. В таблице 1 приведены составы тяжелого бетона с применением пластифицирующей добавки «АРТ-КОНКРИТ Р». Были выбраны две марки по удобоукладываемости - П1 и Р6.

В исследуемых составах также варьировались следующие параметры:

- количество добавки (0,8% и 1,0% от массы цемента);
- расход цемента (485 кг/м³; 435 кг/м³).

Таблица 1 – Составы опытных образцов 1 - 6

| № Состав/ Наименование Состав | Показатель удобоукладываемости | Расход материалов, кг на 1 м ³ бетонной смеси | | | | | | | Вода, кг |
|-------------------------------|--|--|-----------|------------------------|-------------------------|------|------------------------------|---------------------------|----------|
| | | Цемент, кг | Песок, кг | Щебень фр. 5-10 мм, кг | Добавка "АРТ-КОНКРИТ Р" | | Расширяющая добавка РСАМ, кг | Микрокремнезем МКУ-85, кг | |
| | | | | | % | кг | | | |
| 1 | Р6 (РК более 62 см) | 485 | 800 | 825 | - | - | 40 | 45 | 320 |
| 2 | Р 1% (с содержанием добавки в количестве 1% от массы цемента+РСАМ+МК) | 485 | 800 | 825 | 1 | 5,7 | 40 | 45 | 190 |
| 3 | Р *1%- Ц*10%(с содержанием добавки в количестве 1% от массы цемента +РСАМ+МК – 10% цемента) | 435 | 800 | 825 | 1 | 5,7 | 40 | 45 | 190 |
| 4 | Р 0,8% (с содержанием добавки в количестве 0,8% от массы цемента) | 485 | 800 | 825 | 0,8 | 4,56 | 40 | 45 | 205 |
| 5 | Контрольный 2 (бездобавочный, удобоукладываемость П1) | 485 | 800 | 825 | - | - | 40 | 45 | 200 |
| 6 | Р 1% П1(с содержанием добавки в количестве 1% от массы цемента, удобоукладываемостью П1) | 485 | 800 | 825 | 1 | 5,7 | 40 | 45 | 130 |

*В данной таблице буква «R» - пластифицирующая добавка «АРТ-КОНКРИТ Р», «Ц» - цемент.

Сравнительный анализ. Для Составов 1 - 4 кроме подвижности и сохраняемости удобоукладываемости, были исследованы следующие показатели:

- проходимость бетонной смеси с применением L-образного ящика;
- стойкость бетонной смеси к расслоению методом ситового анализа;
- вязкость бетонной смеси по времени, результаты которых представлены в таблице 2.

Для определения характеристик применялись стандартные методы испытания, изложенные в соответствующих нормативных документах.

Исследование влияния пластифицирующей добавки на технологические свойства и характеристики бетонных смесей позволили сделать следующие выводы:

1. Сохраняемость удобоукладываемости зависит от количества вводимой добавки «АРТ-КОНКРИТ Р», причем сохраняемость бетонной смеси в 120 мин обеспечивается при вводе добавки в количестве 0,8-1,0% от массы вяжущих (цемент +РСАМ+МК);

2. Введение добавки, позволяет снизить водоцементное отношение от 0,63 до 0,18, не ухудшая технологические свойства смеси;

3. Проходимость бетонной смеси при испытании в L- образном коробе соответствует требованиям по вязкости VS 2. стойкость бетонной смеси к расслоению – показателю SR1 при представленных количествах добавки «АРТ-КОНКРИТ Р».

С целью всестороннего изучения влияния пластифицирующей добавки «АРТ-КОНКРИТ Р» на свойства тяжелого бетона для Составов 1 – 6 была определена прочность на сжатие в возрасте 7 и 28 суток (таблица 3, рисунки 1,2).

Таблица 2 – Результаты испытаний бетонной смеси Составов 1 - 4

| Показатели свойств бетонной смеси | Значение показателей | | | |
|--|----------------------|-------|-------------|---------|
| | Контрольный | R 1 % | R 1% - Ц10% | R 0,8 % |
| Водоцементное отношение | 0,66 | 0,18 | 0,43 | 0,21 |
| Расход цемента, кг/ м ³ | 485 | 485 | 435 | 485 |
| Подвижность бетонной смеси, ОК, см | 63 | 64 | 65 | 62 |
| Марка по удобоукладываемости | P6 | | | |
| Сохраняемость удобоукладываемости, ч | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³ | 2220 | 2255 | 2005 | 2330 |
| Вязкость бетонной смеси по времени T500, сек | 1,54 | 2,0 | 3,31 | 4,0 |
| Проходимость бетонной смеси испытанием в L – образном коробе | 0,64 | 0,89 | 0,98 | 0,2 |
| Стойкость бетонной смеси к расслоению, % | 10,4 | 8,0 | 7,54 | 2,0 |

Анализ кинетики набора прочности свидетельствует, что образцы Составов 1 - 6 в возрасте 28 суток соответствуют классу С 20/25. Для подвижных смесей Составы 1 - 4 (удобоукладываемость P6) прочность при сжатии (f_c) в возрасте 28 суток составила: Д 1%=37,1 МПа; Д 1% Ц10%=35,5 МПа; Д 0,8%=50,5 МПа.

Таблица 3 – Результаты испытаний образцов бетона Составов 1 – 6

| № Составы/ Наименование Составы | В/Ц | РК (ОК), см | Прочность на сжатие, f_c , МПа | | |
|---------------------------------|---------------|-------------|----------------------------------|----------|------|
| | | | 7 суток | 28 суток | |
| 1 | Контрольный | 0,66 | 63 | 19,9 | 33,1 |
| 2 | R 1% | 0,39 | 64 | 24,4 | 37,1 |
| 3 | R 1%- Ц10% | 0,43 | 65 | 23,8 | 35,5 |
| 4 | R 0,8% | 0,42 | 62 | 31,1 | 50,5 |
| 5 | Контрольный 2 | 0,41 | 3 | 35,6 | 65,5 |
| 6 | R 1% П1 | 0,27 | 4 | 52,7 | 82,4 |

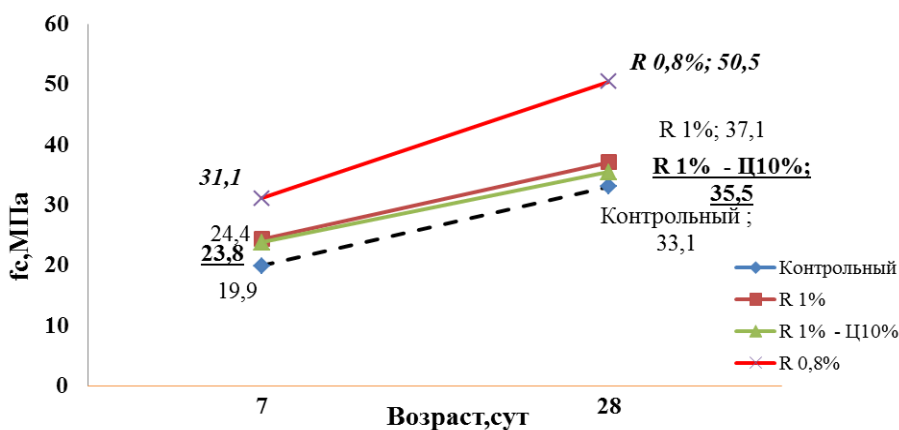


Рисунок 1– Кинетика набора прочности бетона Составов 1 – 4

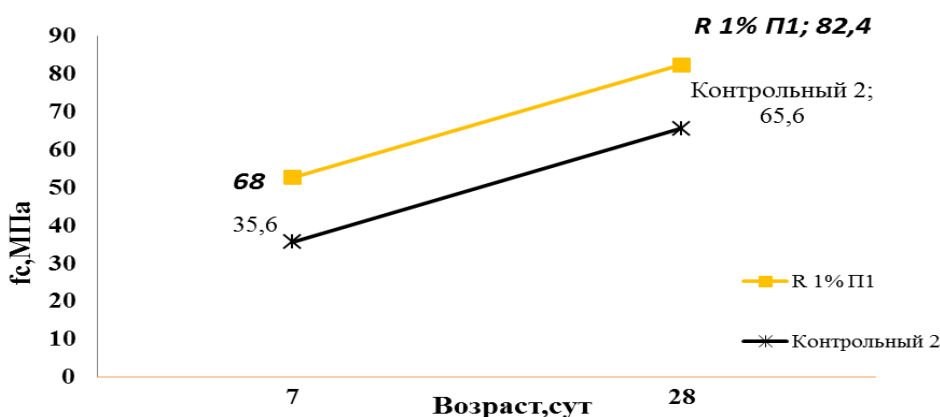


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности бетона Составов 5 – 6

Нужно отметить, что при вводе 0,8% добавки «АРТ-КОНКРИТ Р» от массы вяжущих прочность бетона возросла на 52% по сравнению с контрольным образцом.

Для жестких смесей Составов 5 и 6 (удобоукладываемость П1) модифицирование пластифицирующей добавкой «АРТ-КОНКРИТ Р» позволило достичь прочности на сжатие в возрасте 28 суток – 82,4 МПа, что соответствует прочности бетона на сжатие класса С 50/60, что выше прочности контрольного образца на 25%.

На основании результатов технологических свойств бетонной смеси для Состава 4 были изготовлены образцы бетона для следующих видов испытаний:

- определения прочности бетона на осевое растяжение в возрасте 28 суток f_{ct} ;
- определения марки по морозостойкости F ;
- определения марки по водонепроницаемости W ;
- определения водопоглощения по массе W_m .

Определение прочности на осевое растяжение

Для определения прочности на осевое растяжение бетонных образцов, модифицированных добавкой «АРТ-КОНКРИТ Р» были изготовлены образцы призмы квадратного сечения размерами 70x70x280 мм. По результатам испытаний прочность бетона на осевое значение в серии образцов составила 2,12 МПа.

Определение морозостойкости

Для определения марки по морозостойкости, был использован ускоренный метод определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании в растворе соли по ГОСТ 10060.2-95. По итогам испытаний можно сделать вывод, что марка по морозостойкости соответствует $F 100$, причем потеря прочности составляет 3,6% при нормированной потере прочности в 5%.

Определение водонепроницаемости

Водонепроницаемость бетонных образцов определялась на цилиндрах диаметром 150мм и высотой 150мм. Для определения марки по водонепроницаемости использовался прямой метод при помощи установки для определения водонепроницаемости УВБ-МГ4. После проведения испытания прямым методом, выяснилось, что образцы Состава 4 соответствуют марке по водонепроницаемости W6.

Заключение. Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что введение добавки на основе наноструктурированного углерода способствует увеличению прочностных показателей. Прочность самоуплотняющегося бетона с использованием пластифицирующей добавки лежит в пределах 35,5- 50,5 МПа после 28 суток нормального твердения, что превышает прочность бетона без добавки до 52% при удобоукладываемости P6 и на 25% для смесей с удобоукладываемостью П1. Установлен оптимальный процент ввода добавки для исследуемого состава, который обеспечивает необходимые технологические свойства бетонной смеси и физико - механические характеристики бетона - 0,8%.

Таким образом, получение модифицированной самоуплотняющейся бетонной смеси за счет применения пластифицирующей добавки на основе наноструктурированного углерода «АРТ-КОНКРИТ Р», способствует повышению однородности структуры, снижению количества дефектов и увеличению прочностных характеристик бетона.

Список источников

1. Хрусталеv Б. М., Леонович С. Н., Якимович Б. А., Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Полянских И. С., Пудов И. А., Хазеев Д. Р., Шайбадуллина А. В., Гордина А. Ф., А.Э.М.М. Али, Я. Керене Дисперсии многослойных углеродных нанотрубок в строительном материаловедении. *Наука и техника*. 2014. № 1. С. 44 - 52.
2. Аубакирова И. У., Летенко Д. Г., Никитин В. А., Пухаренко Ю. В., Староверов В. Д. Смешанный наноуглеродный материал в цементных композитах. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2010. № 10. С. 16-17.
3. Леонович С. Н., Карпова Е. А., Лахайн О., Полянских И. С., Пудов, И. А., Скрипкинас Г., Хрусталеv Б. М., Эберхардштайнер Й., Яковлев Г. И. Структурная модификация новообразований в цементной матрице с использованием дисперсии углеродных нанотрубок и нанокремнезема. *Наука и техника*. 2017. Т.16. № 2. С.94-103.
4. Леонович С.Н., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Пудов И.А., Джозеф Эберхардштайнер, Олаф Лахайн, А.Э.М.М. Эльрефаи Влияние многослойных углеродных нанотрубок на модуль упругости и микротвердость цементной матрицы, *Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение. Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции*. Якутск, 2014. С. 387- 393.
5. Жданок С. А., Крауклис А. В., Самцов П. П., Волжанкин В. М. *Установка для получения углеродных наноматериалов*. Патент 2839 РБ, МПК В82В 3/00 /; Опубл. 30.06.2006.
6. Жданок С. А. [и др.] Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы. *Вестник БНТУ*. 2009. № 3. С. 5–22.
7. Zhdanok S. [and etc] Study of the influence of nano-size additives on the mechanical behaviour of cement stone. *Наука и техника*. 2009. № 1. С. 52-55.
8. Zhdanok S. A., Solntsev A. P., Krauklis A. V. *Method of obtaining of carbon nanomaterial*. Patent 10010 RB, МПК SO1B31/00, Published 31.03.2005.

БЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ УГЛЕРОДОМ: ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Коледа Е.А., Будревич Н.А.

Введение. Состояние вопроса. Разработка новых методов улучшения физико-технических показателей бетона является одним из направлений эффективных исследований в области строительного материаловедения. Применение различных видов наноразмерных добавок, которые широко используются в различных областях промышленности, включая многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ), приводит к улучшению указанных свойств.

В то же время не решена задача с равномерным распределением МУНТ в объеме бетона, а также существуют противоречивые точки зрения на механизм их влияния на показатели свойств бетона. Все это в значительной степени ограничивает обширное использование МУНТ при производстве бетона [1,2].

Решению данной задачи способствует разработка комплексных полифункциональных добавок, включающих суперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилатов и МУНТ, которые обеспечат модифицирование цементных бетонов для создания высококачественного композиционного материала с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами.

Во многих исследованиях обоснована возможность модифицирования тяжелых бетонов на основе портландцемента водными дисперсиями МУНТ, приводящая к повышению физико-технических свойств бетона. В то же время в строительном материаловедении известны многочисленные работы, связанные с изучением влияния суперпластификаторов на свойства бетонных смесей и бетонов, их структурообразование и процессы гидратации портландцемента. Однако недостаточно исследований, посвященных изучению структурированию цементной матрицы бетона в комплексном присутствии суперпластификатора и многослойных углеродных нанотрубок.

Целью данной работы является изучение влияния вводимой в состав бетона пластифицирующей добавки на основе наноструктурированного углерода на технологические свойства и характеристики бетонных смесей: подвижность, сохраняемость удобоукладываемости, а также физико-механические свойства тяжелого бетона.

Методика экспериментальных исследований. Оценку эффективности действия добавки на основе наноструктурированного углерода проводили при получении бетона, состав которого, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Расход материалов, кг на 1 м³ бетонной смеси

| Наименование материала | Цемент | Щебень фр. 5-20мм | Песок | Вода |
|------------------------|--------|-------------------|-------|------|
| Расход, кг | 400 | 1020 | 820 | 200 |

С целью установления влияния добавки «АРТ-КОНКРИТ Р» на технологические свойства бетонных смесей, были подобраны оптимальные дозировки данной добавки, которые представлены в таблицах 2 и 3. Образцы Составов 1.1-1.4 должны соответствовать классу бетона по прочности на сжатие С20/25, марки по водонепроницаемости W6, марке по морозостойкости F 100; удобоукладываемости бетонной смеси (по осадке конуса) П4-П5 и сохраняемости бетонной смеси 90 мин. Образцы Составов 1.5 и 1.6 имеют отличие в удобоукладываемости бетонной смеси, данные смеси являются жесткими. В исследованных составах варьировались следующие параметры:

- удобоукладываемость (П1, П4-П5);
- количество добавки (0,6% и 0,8% от массы цемента);
- расход цемента (400 кг/м³; 360 кг/м³).

Таблица 2 – Опытные образцы Составов 1.1- 1.4 (подвижная смесь)

| Наименование объекта испытаний, показатели, технические требования | № состава | Показатель удобоукладываемости | Наименование состава |
|--|-----------|----------------------------------|--|
| В25 (С20/25) W6 F100 | 1.1 | П4-П5 (ОК=16-20; 21-25 см) | Контрольный (бездобавочный, удобоукладываемость П4-П5) |
| | 1.2 | | R 0,8% (с содержанием добавки в количестве 0,8% от массы цемента) |
| | 1.3 | | R *0,8%- Ц*10%(с содержанием добавки в количестве 0,8% от массы цемента – 10% цемента) |
| | 1.4 | | R 0,6% (с содержанием добавки в количестве 0,6% от массы цемента) |

Таблица 3 – Опытные образцы Составов 1.5-1.6 (жесткая смесь)

| | | | |
|-------------------------|-----|-------------------|--|
| B25 (C20/25) W6 F100 | 1.5 | П1 (ОК=1-4 см) | Контрольный 2 (бездобавочный, удобоукладываемость П1) |
| | 1.6 | | R 0,8% П1(с содержанием добавки в количестве 0,8% от массы цемента, удобоукладываемостью П1) |

*В данной таблице буква «R» - пластифицирующая добавка «АРТ-КОНКРИТ Р», «Ц» - цемент.

Сравнительный анализ. Для Составов 1.1-1.4. были исследованы технологические характеристики, такие как подвижность и сохраняемость удобоукладываемости, результаты которых представлены в таблице 4. Для определения характеристик применялись стандартные методы испытания, изложенные в соответствующих нормативных документах.

Таблица 4 – Результаты испытаний бетонной смеси Составов 1.1-1.4

| Показатели свойств бетонной смеси | Значение показателей | | | |
|---|----------------------|---------|---------------|---------|
| | Контрольный | R 0,8 % | R 0,8% - Ц10% | R 0,6 % |
| Водоцементное отношение | 0,5 | 0,3 | 0,29 | 0,45 |
| Расход вяжущего, кг/ м ³ | 400 | 400 | 360 | 400 |
| Подвижность бетонной смеси, ОК, см | 22 | 23 | 23 | 20 |
| Марка по удобоукладываемости | П4-П5 | П4-П5 | П4-П5 | П4-П5 |
| Сохраняемость удобоукладываемости, ч | 0,5 | 3 | 2 | 1,5 |
| Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³ | 2367 | 2250 | 2215 | 2256 |

Исследование влияния пластифицирующей добавки «АРТ-КОНКРИТ Р» на технологические свойства и характеристики бетонных смесей позволили сделать следующие выводы:

1. Сохраняемость удобоукладываемости зависит от количества вводимой добавки «АРТ-КОНКРИТ Р», минимальное количество которой составляет 0,6%, при котором обеспечивается требуемая сохраняемость бетонной смеси в 90 мин;

2. Введение пластифицирующей добавки «АРТ-КОНКРИТ Р», позволяет снизить водоцементное отношение (до В/Ц=0,3), не ухудшая технологические свойства смеси.

С целью всестороннего изучения влияния пластифицирующей добавки на свойства тяжелого бетона B25 (C20/25) W6 F100 для Составов 1.1-1.6 была определена прочность на сжатие в возрасте 7 и 28 суток (таблица 5, рисунки 1,2).

Таблица 5 – Результаты испытаний образцов бетона составов 1.1-1.6

| Наименование состава / № Состав | Расход материалов, кг на 1 м ³ бетонной смеси | | | | | | Вода, кг | В/Ц | ОК, см | Прочность на сжатие, f _c , МПа | |
|---------------------------------|--|-----------|------------|-------------------------|-----|---------|----------|------|--------|---|------|
| | Цемент, кг | Песок, кг | Щебень, кг | Добавка «АРТ-КОНКРИТ Р» | | 7 суток | | | | 28 суток | |
| | | | | % | кг | | | | | | |
| B25 (C20/25) W6 F100 | 1.1 | 400 | 820 | 1020 | - | - | 200 | 0,50 | 22 | 25,2 | 49,2 |
| | 1.2 | 400 | 820 | 1020 | 0,8 | 3,2 | 120 | 0,30 | 23 | 35,7 | 51,9 |
| | 1.3 | 360 | 820 | 1020 | 0,8 | 3,2 | 105 | 0,29 | 23 | 33,9 | 51,1 |
| | 1.4 | 400 | 820 | 1020 | 0,6 | 2,4 | 180 | 0,45 | 20 | 39,9 | 57,8 |
| | 1.5 | 400 | 820 | 1020 | - | - | 155 | 0,39 | 2 | 46,8 | 59,5 |
| | 1.6 | 400 | 820 | 1020 | 0,8 | 3,2 | 110 | 0,28 | 3 | 57,7 | 64,7 |

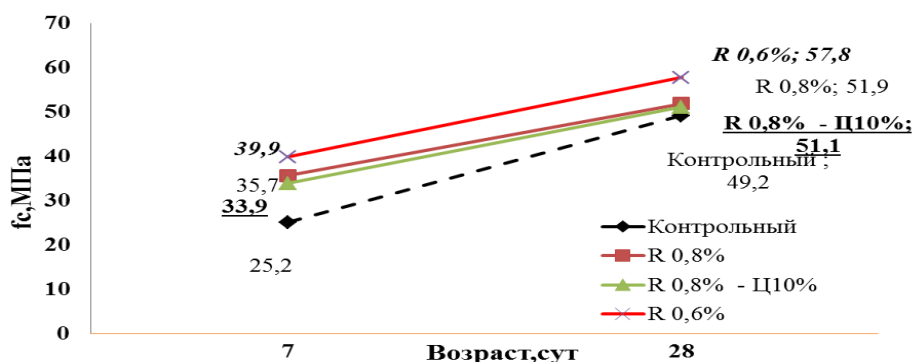


Рисунок 1 — Кинетика набора прочности бетона Составов 1.1-1.4

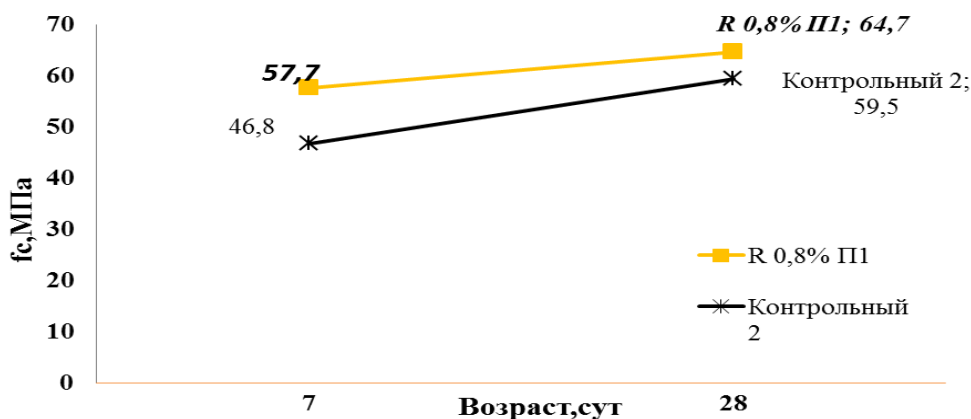


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности бетона Составов 1.5-1.6

Анализ кинетики набора прочности свидетельствует, что образцы всех Составов 1.1-1.6 в возрасте 28 суток соответствуют классу В25 (С20/25).

• Для подвижных смесей рис.3 (удобоукладываемость П4-П5) модифицирование пластифицирующей добавкой «АРТ-КОНКРИТ Р» позволило увеличить прочность при сжатии (f_c) в возрасте 28 суток по сравнению с бездобавочным составом соответственно: для Состава 1.2 – на 5%(51,9 МПа); для Состава 1.3 – на 3% (51,1 МПа); для Состава 1.4 – на 17%(57,8 МПа), при этом произошло ускорение набора прочности к 7 суткам хранения на 34-58% по сравнению с контрольным составом.

Зафиксировано оптимальное количество добавки “АРТ-КОНКРИТ Р” – 0,6% от массы цемента.

• Для жестких смесей рис.4 (удобоукладываемость П1) модифицирование позволило достичь прочности на сжатие в возрасте: 7 суток равно 57,7МПа; 28 суток - 64,7МПа; что выше прочности контрольного образца на 23% и 8% соответственно.

На основании результатов технологических свойств бетонной смеси для Состава 1.2 были изготовлены образцы бетона для следующих видов испытаний:

- определения прочности бетона на осевое растяжение в возрасте 28 суток f_{ct} ;
- определения марки по морозостойкости F ;
- определения марки по водонепроницаемости W ;
- определения водопоглощения по массе W_m .

Определение прочности на осевое растяжение. Для определения прочности на осевое растяжение бетонных образцов, модифицированных добавкой «АРТ-КОНКРИТ Р» были изготовлены образцы призмы квадратного сечения размерами 70x70x280мм. По результатам испытаний прочность бетона на осевое значение в серии образцов составила 2,85 МПа, что превышает требуемую прочность при подборе состава более 25%.

Определение морозостойкости. Для определения соответствия бетона Состава 1.2 предъявляемой марки по морозостойкости, был использован ускоренный метод определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании в растворе соли по ГОСТ 10060.2-95. По итогам испытаний можно сделать вывод, что марка по морозостойкости соответствует предъявляемым требованиям, причем потеря прочности составляет 0,7% при нормированной потере прочности в 5%. Данные сведения говорят о более высокой марке по морозостойкости, чем F 100.

Определение водонепроницаемости. Водонепроницаемость бетонных образцов определялась на цилиндрах диаметром 150мм и высотой 150мм. Для определения марки по водонепроницаемости использовался косвенный метод при помощи устройства для ускоренного определения водонепроницаемости АГАМА -2 РМпо ГОСТ 12730.5-84 (таблица 6).

Таблица 6 – Определение водонепроницаемости косвенным методом

| Наименование объекта испытаний | Нормированные значения показателей, установленных в ТНПА | Фактическое значение показателей для каждого образца, сек. | | | | Вывод о соотв. требованиям ТНПА |
|--------------------------------|--|--|---------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| | | 1 2 | 3 4 | 5 6 | Ср. (3 и 4) | |
| Состав 1.2 | W6 (6,6 -9,4 с/см ³) | 17,0 60,4 | 64,3 127,4 | 130,2 130,2 | 95,8 | Соотв. W6 |

После проведения испытания косвенным методом, выяснилось, что образцы Состава 1.2 соответствуют марке по водонепроницаемости W20, что значительно превышает требуемый параметр W6.

Определение водопоглощения. Водопоглощение бетона отдельного образца по массе составил: $W_m=2,1\%$.

Заключение. Установлен оптимальный процент ввода добавки «АРТ-КОНКРИТ Р» для исследуемого состава, который обеспечивает необходимые технологические свойства бетонной смеси и физико - механические характеристики бетона - 0,8%.

Для бетона, модифицированного пластифицирующей добавкой:

- подвижных смесей (удобоукладываемость П4-П5) модифицирование позволило увеличить прочность при сжатии в возрасте 28 суток по сравнению с бездобавочным составом на 17% (57,8 МПа).

- жестких смесей (удобоукладываемость П1) - прочность на сжатие составила в возрасте: 7 суток $f_c=57,7\text{МПа}$, 28 суток - 64,7МПа, что выше прочности контрольного образца на 23% и 8% соответственно;

Прочность на осевое растяжение составила $f_{ct}=2,85\text{МПа}$, марка по водонепроницаемости соответствует W20, марка по морозостойкости более F100 с потерей прочности в 0,7%.

Обосновано улучшение технологических свойств за счет применения пластифицирующей добавки на основе наноструктурированного углерода, которые формируют кристаллогидратные новообразования, что способствует повышению степени гидратации цемента, тем самым способствуя уплотнению структуры цементной матрицы.

Список источников

1. Хрусталеv Б. М., Леонович С. Н., Якимович Б. А., Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Полянских И. С., Пудов И. А., Хазеев Д. Р., Шайбадуллина А. В., Гордина А. Ф., А.Э.М.М. Али, Я. Керене Дисперсии многослойных углеродных нанотрубок в строительном материаловедении. *Наука и техника*. 2014. № 1. С. 44 - 52.

2. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Пудов И.А., Джозеф Эберхардштайнер, Олаф Лахайн, А.Э.М.М. Эльрефаи, Леонович С.Н. Влияние многослойных углеродных нанотрубок на модуль упругости и микротвердость цементной матрицы, *Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение. Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции*. Якутск, 2014. С. 387- 393.

3. Жданок С. А., Крауклис А. В., Самцов П. П., Волжанкин В. М. *Установка для получения углеродных наноматериалов*. Патент 2839 РБ, МПК В82В 3/00 /; Оpubл. 30.06.2006.

4. Жданок С. А. [и др.] Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы. *Вестник БНТУ*. 2009. № 3. С. 5–22.

5. Zhdanok S. [andetc] Study of the influence of nano-size additives on the mechanical behaviour of cement stone. *Наука и техника*. 2009. № 1. С. 52-55.

6. Zhdanok S. A., Solntsev A. P., Krauklis A. V. *Method of obtaining of carbon nanomaterial*. Patent 10010 RB, МПК SO1B31/00, Published 31.03.2005.

7. Eberhardsteiner J., Zhdanok S., Khroustalev B., Batsianouski E., Leonovich S., Samtsou P. Characterization of the influence of carbon nanomaterials on the mechanical behavior of cement stone. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2011. Volume 84. Number 4. Pages 697-704.

АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ СВЕДЕНИЙ О ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Профатило И.В., Сафончик Д.И.

На современном этапе постоянно развивающаяся промышленность, непрерывно сопровождается образованием большого количества отходов. В Беларуси образуется около 800 видов отходов с широким спектром физико-химических свойств, в том числе опасных [1]. Складирование их занимает всё больше территорий. Отвалы отходов производства и потребления приводят в конечном этапе к экологической дестабилизации, и представляют серьезную угрозу здоровью населения. Во всём мире вопрос утилизации отходов является очень актуальным и, как следствие, появляется всё больше технологий, направленных на переработку как образующихся, так и накопленных ранее отходов.

В 2004 году Национальной комиссией по устойчивому развитию разработана «Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г.» (НСУР–2020). В НСУР–2020 главное внимание уделено особенностям прогнозного периода, дальнейшей реализации «Повестки дня на XXI век», гармонизации социального, экономического и экологического развития как равноценных взаимодополняющих составляющих в едином сбалансированном комплексе «человек-окружающая среда-экономика» [1]. Составляющей частью указанного документа является раздел, содержащий информацию об использовании и обезвреживании отходов производства и потребления. В сфере обращения с отходами в Беларуси устойчиво доминирует их удаление с неизбежным накоплением на полигонах. Это приводит к исчерпанию эксплуатационных мощностей полигонов, а в дальнейшем – к необходимости появления новых полигонов для хранения отходов.

Исходя из вышесказанного, для нашей страны для улучшения ситуации с отходами может быть определена следующая цель – снижение (стабилизация) отрицательного влияния отходов на состояние окружающей среды и предотвращение негативных последствий на здоровье людей.

Серьезное внимание должно быть также уделено твердым коммунальным отходам (ТБО), к которым относятся отходы потребления и отходы, образующиеся в процессе экономической деятельности, необходимой для обеспечения жизнедеятельности человека в населенных местах [1].

На сегодняшний момент уже ведётся раздельный сбор и сортировка коммунально-бытовых отходов. В крупных городах активно функционируют мусороперерабатывающие комплексы, обеспечивающие возможность использования отходов как в качестве источников вторичного сырья, так и в качестве источников энергии. Разрабатывается большое количество технологий по использованию вторичного сырья при изготовлении строительных материалов и изделий. Разработан ряд нормативных документов, которые определяют правила обращения с отходами. Основным является Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами» от 20 июля 2007 г. № 271-3, определяющий правовые основы обращения с отходами и направленный на уменьшение объёмов их образования, предотвращение вредного воздействия на окружающую среду, а также здоровье граждан и имущество [2].

Согласно ст. 1 п. 1 Закона Республики Беларусь «Об обращении с отходами» от 20 июля 2007 г. № 271-3 (с изм. и доп.) отходами называются вещества или предметы, образующиеся в процессе осуществления экономической деятельности, жизнедеятельности человека и не имеющие определённого предназначения по месту их образования либо утратившие полностью или частично потребительские свойства [2]. Однако такое определение нельзя назвать всеобъемлющим. К примеру, нет точной границы, разделяющей понятия «вторичного» и «техногенного сырья». Возникает много вопросов, связанных с классификацией отходов и возможных вариантов их переработки. В строительстве, например, действует ТКП 17.11-10-2014 (02120) «Правила обращения со строительными отходами». В нём помимо правил сбора, учёта, хранения и перевозки отходов, приведены рекомендуемые направления их рационального использования [3].

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [4] составлена диаграмма образования, использования и удаления отходов (рисунок 1). Из неё видно, что за последние годы количество переработанных отходов осталось на том же уровне, тогда как количество образовавшихся отходов увеличилось. Это говорит о том, что всё ещё не улучшена ситуация с повторным использованием отходов.

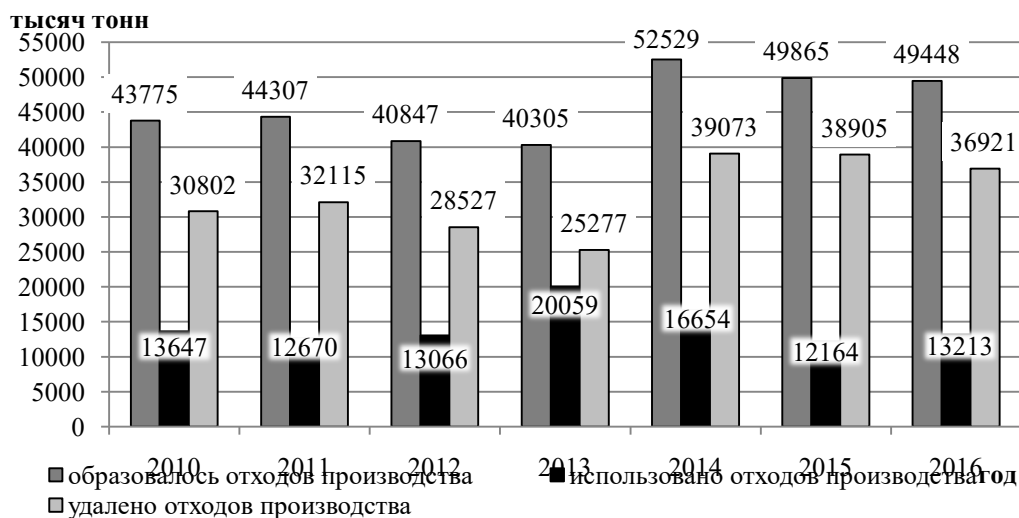


Рисунок 1 – Диаграмма образования, использования и удаления отходов

На рисунке 2 представлена диаграмма, отображающая количество отходов, приходящихся на душу населения нашей страны.

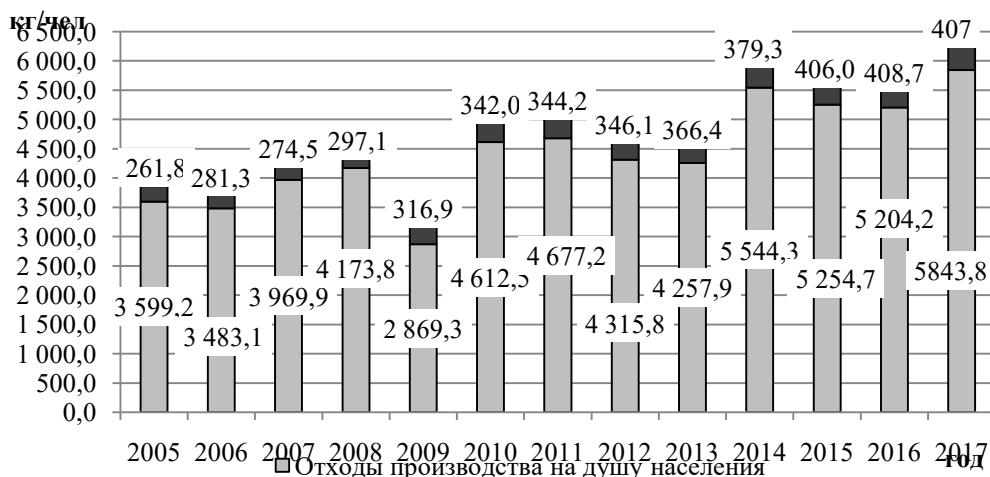


Рисунок 2 – Диаграмма образования количества отходов, приходящихся на душу населения, кг/чел

Из диаграммы (рисунок 2) видно, что отходы производства значительно превышают бытовые отходы.

Производства по классам опасности формируются в соответствии с классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь, где 1 класс опасности - чрезвычайно опасные отходы; 2 - высокоопасные; 3 - умеренно опасные; 4 – малоопасные, а также неопасные отходы.

В 2017 г. в Республике Беларусь образовалось 16,1 % неопасных отходов; 80,9 % малоопасных; 2,9 % умеренно опасных; 0 % высокоопасных; 0,1% чрезвычайно опасных.

На диаграмме (рисунок 3) показано количество переработанных опасных отходов, а также тех, что подверглись сжиганию, захоронению или прочим видам удаления [5].

Обобщенность понятия «отходы производства» не позволяет отделить, те, что перерабатываются сразу на месте их образования. Большинство проблем возникает не с производственными отходами, а с твердыми коммунальными. Зачастую такие отходы сложно очистить от загрязнений, и вообще выделить по тем, или иным свойствам. Всё это затрудняет процесс вторичного использования материалов.

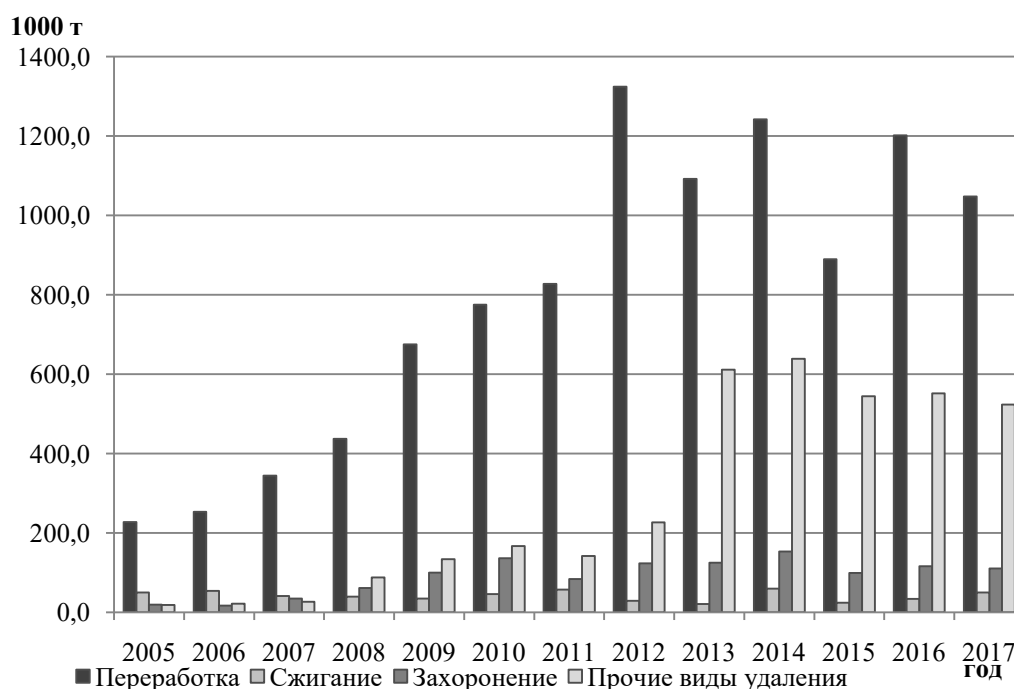


Рисунок 3 – Диаграмма видов управления опасными отходами (для 1-3 классов опасности)

Зачастую возникают большие проблемы, связанные с утилизацией изделий из пластика. Это связано с тем, что полимеры почти не разлагаются в природе. При этом постоянно увеличивающиеся объёмы производства изделий из термопластов приводят к его накоплению. Частично эту проблему решают различные способы переработки пластика: литьё под давлением, получение гранулята, экструзия. Все эти способы основаны на принципе плавления под давлением.

Экструзии могут подвергаться не все виды пластика, а только: полиамиды, полиэтилен низкой и высокой плотности, поливинилхлорид, ABS-пластики, полиэтилентерефталат. При этом не все из перечисленных видов пластика безопасны в процессе перехода в пластичное состояние. Большинство из них выделяют опасные для здоровья вещества (таблица 1) [6].

Таблица 1 – Вещества, выделяемые при нагревании полимеров

| Вид полимера | Температура плавления $t_{\text{плав.}}^{\circ\text{C}}$ | Опасность |
|--|--|---|
| 1. PET или PETE (ПЭТ) – полиэтилентерефталат | 260 | При плавлении может высвободиться сурьма и канцерогены |
| 2. HDPE (ПНД) – полиэтилен высокой плотности или полиэтилен низкого давления | 120-135 | Не выделяет опасных веществ |
| 3. PVC (ПВХ) – поливинилхлорид | 150-220 | Выделяет канцерогены, а также свинец и диоксины |
| 4. LDPE (ПВД) – полиэтилен низкой плотности или полиэтилен высокого давления | 90 | Безопасен, но быстро переходит из стадии плавления в стадию горения |
| 5. PP (ПП) – полипропилен | 160-170 | Частично безопасен, может выделять биоцид |
| 6. PS или ПС – полистирол | 240 | Выделяет канцероген стирол |
| 7. OTHER (ДРУГОЕ) – различные пластики, не указанные выше | различная | Безопасность определяется для каждого конкретного типа. |

В Гродненском государственном университете имени Янки Купалы начаты работы по изучению проблем утилизации полимерных отходов. Осуществлены попытки получения полимерного композита из полиэтилентерефталата (рис. 4, а) и при его смешивании с полиэтиленом (рис. 4, б). Установлено, что при смешивании происходит расслоение материала, в местах соприкосновения двух пластиков, что приводит к ухудшению физико-механических характеристик. Всё это сказывается на качестве материала. Требуется дополнительная работа с уточнением технологии смешивания.

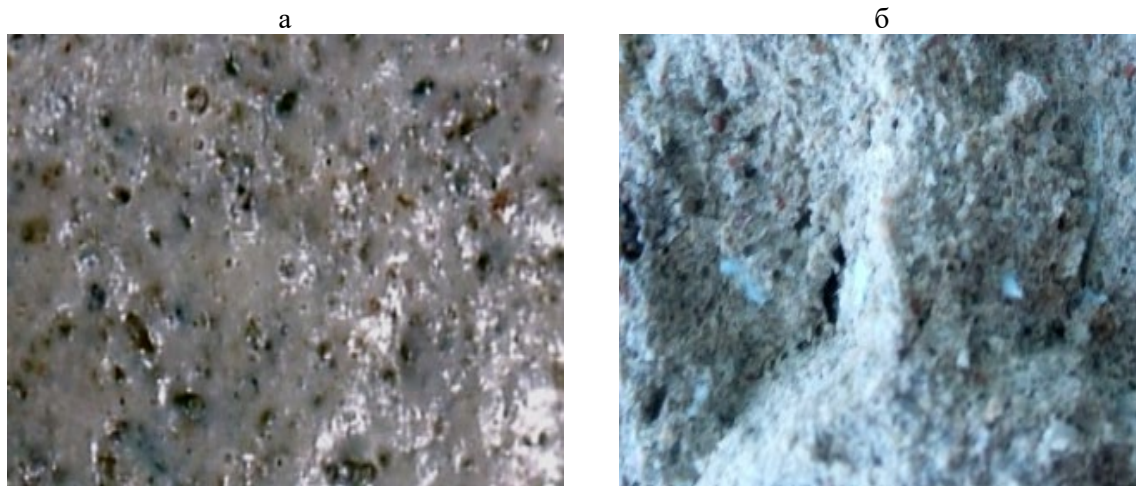


Рисунок 4 – Поверхность образцов (а – из отходов полиэтилентерефталата, б – из отходов полиэтилентерефталата и полиэтилена)

Попытки ученых из разных стран позволили уже определить некоторые пути утилизации отходов. Такие работы продолжаются и в Республике Беларусь, что позволяет надеяться на то, что постепенно возможно будет улучшить экологическую ситуацию.

Несмотря на создание ряда нормативных и правовых документов, регламентирующих правила обращения с отходами, всё ещё возникает множество вопросов, связанных с их классификацией, переработкой и возможным использованием. Кроме того, не все отходы могут быть подвергнуты переработке. Это происходит из-за отсутствия технологий по использованию многих видов отходов. Проблема также возникает при сортировке и дальнейшей переработке смешанных отходов из-за наличия пищевых и иных органических веществ. В некоторых случаях удаление этих веществ, приведёт к удорожанию процесса переработки. Еще одной немаловажной проблемой является наличие в отходах различных типов термопластов, которые не совместимы при совместной тепловой обработке. Все эти проблемы требуют решения. Следует разрабатывать новые технологические линии по переработке отходов, чтобы максимально включить отходы во вторичное использование.

Список источников

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г./Национальная комиссия по устойчивому развитию Респ. Беларусь; Редколлегия: Я.М. Александрович и др. — Мн.: Юнипак. — 200 с.
2. Об обращении с отходами: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-3 (с изм. и доп.: Закон от 8 июля 2008 г. № 367-3) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2007. – № 183. – 2/1368; 2008. – № 170. – 2/1464.
3. Охрана окружающей среды природопользование. Отходы. Правила обращения со строительными отходами = Ахова навакольнага асяроддзя прыродакарыстанне. Адыходы. Правілы абыходжання з будаўнічымі адыходамі: ТКП 17.11-10-2014 (02120) – Введ. 01.03.15. – Минск : РУП «Центр международных экологических проектов, сертификации и аудита «Экологияинвест» », 2015. – 8 с.
4. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-1-obrazovanie-othodov/>. – Дата доступа: 25.09.2018.
5. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-2-upravlenie-opasnymi-othodami/>. – Дата доступа: 25.09.2018.
6. Nature time [Электронный ресурс] / Сайт экологической грамотности. – 2018. - Режим доступа : <https://nature-time.ru/2014/06/gorenie-i-plavlenie-plastika/>. – Дата доступа : 25.09.2018.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОПИТОЧНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Пшембаев М.К., Ковалев Я.Н., Бабицкий В.В.

Недостатки дорожных асфальтобетонных покрытий в основном обусловлены низким модулем упругости асфальтобетона и быстрым старением основного компонента асфальтобетона – битума. И это объясняет низкую долговечность таких покрытий, необходимость их частого ремонта. Цементобетонные покрытия существенно превосходят по этим показателям асфальтобетонные. Оптимизированный состав бетона, общее соблюдение технологии укладки бетонной смеси, всеобъемлющий контроль качества производства работ, достаточная квалификация инженерно-технического персонала и рядовых рабочих обеспечивают длительную бездефектную работу дорожного цементобетонного покрытия. Однако в процессе эксплуатации автомобильных дорог в жестких условиях замораживания-оттаивания, насыщения-высушивания, воздействия солей-антиобледенителей проявляются дефекты покрытия, снижается его долговечность. Создание бетона с минимально возможным на данных компонентах смеси водоцементным отношением обеспечивает получение материала с минимальной пористостью и, соответственно, с максимальной долговечностью, но, к сожалению не всегда. И тогда приходится прибегать к модификации поверхностных слоев уже готового затвердевшего бетона, иногда уже после длительного срока эксплуатации дороги, для чего применяются различные технологии, позволяющие резко изменять долговечность покрытия.

В качестве критериев оценки долговечности цементобетонного покрытия могут быть такие физико-механические свойства бетона, как прочность на сжатие, водопоглощение и истираемость. Прочность бетона на сжатие интегрально характеризует способность бетона противостоять внешней агрессии. И в технологии бетона именно этот параметр связывают, например, с деформативными свойствами бетона, его плотностью, проницаемостью для агрессивных флюидов. Водопоглощение бетона прямо связано с его капиллярной пористостью, а, следовательно с проницаемостью и глубиной пропитки материала уплотняющим раствором. Истираемость же бетона определяет твердость образующейся на поверхности бетона «уплотненной корочки» и, значит, долговечность покрытия.

В связи с тем, что дорожный бетон представляет собой пористый композиционный материал, возникает необходимость уменьшения или блокирования в нем части пор, которые определяют его коррозионную стойкость. С этой целью поверхностный слой дорожного бетонного покрытия подвергают пропитке различными органическими и неорганическими соединениями. В качестве органических соединений используют полимерные материалы на основе полиуретановых, эпоксидных и акриловых смол [1].

Примерами применения неорганических композиций является использование в качестве пропитки водных растворов соединений, приводящих к образованию в порах бетона трудно-растворимых фосфатов, фторидов, силикатов и других веществ [2].

С целью снижения водопоглощения бетона следует считать целесообразным использование промышленных гидрофобизаторов на основе кремнийорганических соединений [3]. Представляют также интерес композиционные составы пропиток на основе гидрофобизатора и веществ, образующих в порах бетона труднорастворимые соединения, которые кольматируют эти поры.

Продукты затвердевшего цементного камня представляют собой гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроалюмоферриты кальция, а также гидроксид кальция, реакция которых с тонкодисперсным кремнеземом в пропиточном составе, например, золем кремнезема повышает прочность и долговечность бетона [4]. Вторичные мало- или вообще водонерастворимые гидросиликаты кальция кольматируют поры бетона и упрочняют его поверхностный слой за счет образования дополнительной твердой фазы, родственной первичным гидросиликатам кальция, образующимся при твердении цемента.

Таким образом, перспективной (по причине сравнительной простоты и высокой производительности) выглядит пропитка поверхности бетонного покрытия комплексным составом, содержащим несколько компонентов, в первую очередь гидрофобизатор, препятствующий проникновению жидкости в тело бетона, и тонкодисперсный кремнезем, в частности золь кремнезема, обеспечивающий снижение пористости поверхностных слоев бетона за счет взаимодействия со свободной гидроксидом кальция или иными продуктами гидратации цемента.

Для полноценного проектирования поверхностной защиты цементного дорожного покрытия необходима реализация двух этапов: во-первых, проектирование (либо подбор) состава бетона и, во-вторых, собственно оптимизация пропиточного состава.

Вначале реализуется стадия проектирования состава дорожного бетона (рис. 1).

Оператор выбирает свойства компонентов бетонной смеси:

- марку цемента (в пределах от М300 до М600);

Рисунок 1 – Окно «Подбор состава бетона»

- нормальную густоту цемента (в пределах от 22 до 32 %), при этом нормальную густоту назначают с учетом введенной пластифицирующей добавки;

- плотность цемента (от 2800 до 3200 кг/м³);

- вид крупного заполнителя (щебень или гравий);
- наибольшую крупность зерен (от 10, 20 и 40 мм);
- качество заполнителей (высокое – мытые щебень и песок; среднее – щебень и песок с допустимыми нормативными документами включениями пыли, глины, ила; низкое – с включениями сверх допустимых нормативными документами);
- насыпную плотность крупного заполнителя (от 1200 до 1600 кг/м³);
- модуль крупности песка (от 0,5 до 5,0).

Далее выбираются: необходимая марка бетонной смеси (от Ж4 до П4) и класс бетона по прочности на сжатие (от С8/10 до С50/60).

Посредством слайдера выставляется коэффициент вариации прочности бетона (в пределах от 4 до 17 %).

Расчеты производятся автоматически параллельно с изменением выше указанных характеристик, в итоге чего получают расходы цемента, крупного и мелкого заполнителей, воды, водоцементного отношения и расчетной плотности бетонной смеси. Выбранные пределы варьирования влияющих факторов обеспечивают изменение параметров бетона в широких пределах, а, следовательно, и качество бетона дорожных покрытий в зависимости от численных величин факторов. Расчеты не ограничиваются только получением бетона с заданными прочностными характеристиками. Одновременно рассчитываются водопоглощение бетона по массе и его истираемость. Таким образом, оператор, варьируя влияющие факторы, но непосредственно не вмешиваясь в процесс вычислений, выбирает наиболее оптимальный вариант.

Далее переходят к реализации второго этапа – непосредственного проектирования пропиточной композиции (рис. 2). Расчеты основываются на некоторых закономерностях.

Рисунок 2 – Окно «Проектирование защитной композиции»

Содержание гидрофобизатора (доля в общем объеме) практически не влияет на прочностные характеристики бетона (рис. 3), что, в принципе, естественно. А введение золя кремнезема экстремально воздействует на прочность бетона, причем существенно изменяя свойства материала. Такой характер воздействия может быть объяснен тем, что с ростом содержания кремнезема большее количество гидроксида кальция вовлекается в реакцию, что вызывает и рост прочности. Однако параллельно уменьшается и глубина пропитки цементного камня, снижая общую прочность материала. Взаимосвязь этих процессов и приводит к экстремальному характеру процесса.

На истираемость бетона (рис. 4) гидрофобизатор влияние практически не оказывает, а с ростом содержания геля кремнезема параметры истираемости снижаются. Экстремум (в выбранных пределах изменения факторов) отсутствует и это объяснимо, поскольку величина истираемости зависит от характеристик именно поверхностных слоев, практически не завися от их толщины. И при испытаниях абразивный материал, используемый в испытательной установке, не доходит до исходного непропитанного слоя.

Что касается водопоглощения бетона, а, следовательно, и водонепроницаемости, то содержание геля кремнезема мало влияет на полученные характеристики (рис. 5). В то же время с ростом содержания гидрофобизатора пропорционально снижается и водопоглощение бетона.

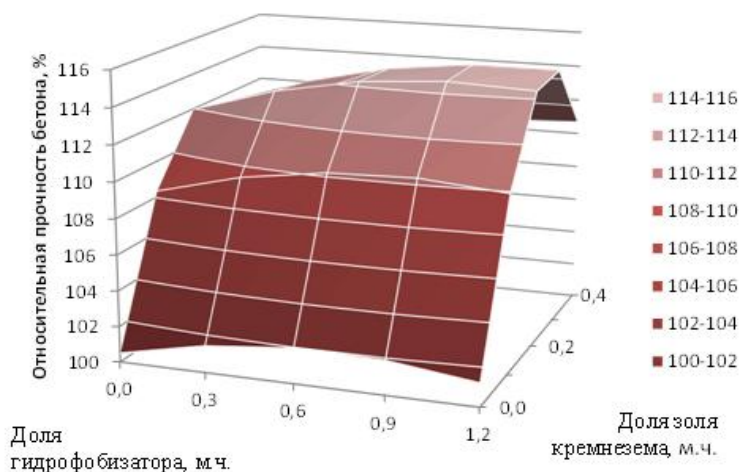


Рисунок 3 – Влияние гидрофобизатора и золя кремнезема на относительную прочность бетона

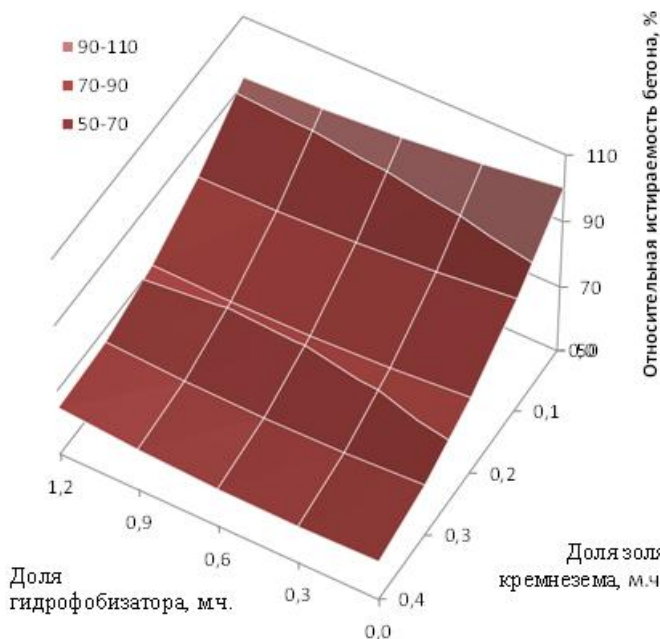


Рисунок 4 – Влияние гидрофобизатора и золя кремнезема на относительную истираемость бетона

Для оптимизации пропиточного состава оператор использует слайдеры изменения содержания и эффективности элементов пропиточной композиции, то есть золя кремнезема и гидрофобизатора. Эффективность обоих компонентов принималась за эталон – 0,5 (50 %) – для пропиточной композиции, включающей: ТЭОС – тетраэтоксисилан (ТУ 6-09-3687-79); софксил-60 (ТУ 2229-008-42942526-2001) – водный раствор гидратированного метилсиликатата калия с массовой долей основного вещества 58...63 %, рН = 14; софксил-защита (ТУ 222-025-42942526-2001 с изм. 1-7) – раствор олигометил гидросилоксана в органическом растворителе, а также кремнезоль, полученный катионированием раствора натриевого жидкого стекла. При применении иных веществ экспериментальным путем (сравнением с эталоном) оценивается их эффективность.

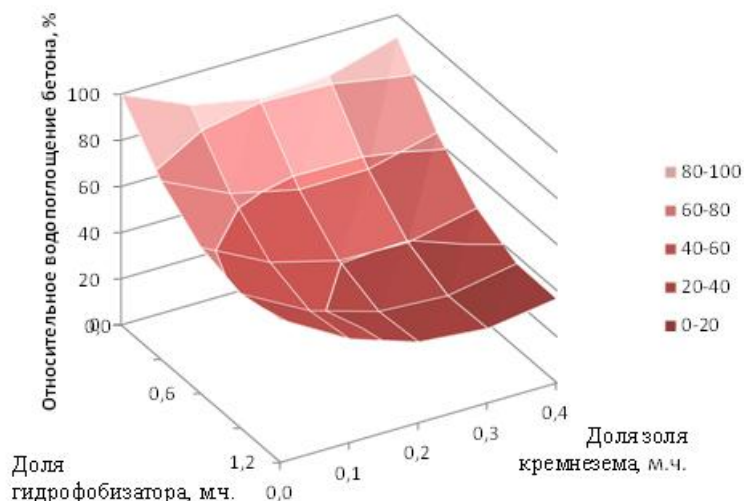


Рисунок 5 – Влияние гидрофобизатора и золя кремнезема на относительное водопоглощение бетона

Таким образом, представлен программный продукт для параллельного расчета состава исходного дорожного бетона и оптимизации пропиточной композиции с целью направленного модифицирования поверхностных слоев бетона. В последующем, по мере накопления экспериментальных результатов, программа будет дополнена элементами по количественному расчету технологии нанесения пропиточного раствора в зависимости от исходных структурных характеристик цементного камня и бетона.

Список источников

1. Бунин, М. В. Структура и механические свойства цементных бетонов / М. В. Бунин, И. М. Грушко, А. Г. Ильин // Структура и механические свойства цементных бетонов. Харьков: Харьк. ун-т, 1968. 199 с.
2. Шестоперов, С. В. Долговечность бетона транспортных сооружений / С. В. Шестоперов. М.: Транспорт, 1966. 500 с.
3. Лайдобон, Ч. С. Поверхностная модификация бетона высоковязкими составами / Ч. С. Лайдобон. Иркутск, 2005. 290 с.
4. Королев, А. С. О новом подходе в математическом прогнозировании водонепроницаемости цементных композитов / А. С. Королев // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. Строительство и архитектура. 2008. № 25. С. 31–36.

РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЁ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Романовский С.А., Бакатович А.А.

Введение: Одной из важнейших задач строительного производства, на современном этапе, помимо наращивания объема производимых теплоизоляционных материалов, является повышение эффективности разрабатываемых утеплителей. В настоящее время в странах Европы и России особое внимание в технологиях получения теплоизоляционных материалов уделяется использованию волокон растительного происхождения. Многочисленные экспериментальные исследования показывают, что наиболее подходящим сырьем для изготовления теплоизоляционных плит являются сельскохозяйственные отходы, образующиеся после сбора и переработки урожая [1]. Использование утеплителей на волокнистом сырье растительного происхождения приведет не только к значительной экономии топливно-энергетических ресурсов, капитальных вложений и снижению себестоимости выпускаемой продукции, но и позволит улучшить экологическую ситуацию в целом. Высокая эффективность теплоизоляционных плит волокнистой структуры и практически неограниченная сырьевая база дают право рассматривать развитие производства таких утеплителей как одно из важнейших направлений в освоении новых прогрессивных строительных материалов.

Основная часть: Образующиеся в больших объемах на территориях разных стран, включая Беларусь, Бангладеш, Малайзию, Индию, Китай, волокна растениеводства на начальном этапе исследований рассматривались как потенциальные сырьевые источники получения эффективного заполнителя для теплоизоляционных материалов. В экспериментах использовали различные растительные волокна: льна, очесов льна, джута, коры масличной пальмы, кокоса, бамбука, конопли и крапивы.

Одной из ведущих технических культур сельского хозяйства в Республике Беларусь является лен-долгунец. В Беларуси сосредоточено около 16% мировых посевов льна, или более 20% льняных посевов на Европейском континенте. Лен-долгунец высевается во всех регионах Беларуси, но наиболее крупные посевные площади (31,6% от всех посевов) приходятся на Витебскую область [2]. Сбор урожая и дальнейшая переработка льна для получения льняных волокон является достаточно трудоемким процессом. При уборке льна комбайнами производится механизированный расстил соломки на льнище. Отделению волокнистой части стебля от древесины способствует роса, дожди и тепло, разрушающие соединительные ткани. Далее льняное сырье поступает на льнозаводы для первичной переработки льна [3]. При обработке льняной тресты свыше одной трети всего волокна уходит в отходы трепания. После обычного протряхивания от костры часть отходов сдаётся на заготовительный пункт как пакля. Большую часть отходов тщательно обрабатывают в потоке на специальной линии машин по производству короткого волокна, состоящей из специальной сушилки, трясилки, куделеприготовительной машины. Здесь льняные отходы окончательно очищают от древесины. Для повышения качества волокна, чистое короткое и длинное волокно после оценки и подвязки отвозят на склад для отлежки. Затем волокно проходит контрольную сортировку и отправляется на льняные комбинаты или фабрики [4]. В результате чесания трепаного льна получают от 45 до 55% чесаного льна, 40–50% очесов и около 5% костры. В 2017 году урожайность льноволокна составила 9,2 ц/га, наибольшая урожайность отмечалась в 2014 году – 10,7 ц/га.

В Бангладеш одними из самых дешевых растительных волокон являются джутовые, уступающие только хлопку по выпуску продукции и разнообразию применения. Объем производства джутовых волокон в стране составляет около 1 млн. т. в год. Джут произрастает довольно легко во влажных и теплых условиях. Средняя производительность растения варьируется от 1,5 до 2 т/га. Для получения волокон длиной от 1 до 4 метров джут проходит процесс вымачивания и декорткации [5].

В странах с теплым климатом многотоннажным волокнистым отходом являются волокна коры масличной пальмы. В последние десятилетия по причине мирового роста потребления пальмового масла в пищевой и косметической индустриях существенно увеличились посадочные площади плантаций пальмовых деревьев. Малайзия занимает лидирующие позиции в производстве пальмового масла. Однако, на сегодняшний день, малазийские производители масла столкнулись с проблемой утилизации большого количества вырубленных старых пальмовых деревьев. Как правило, стволы вырубленных деревьев постепенно гниют, или

сжигают на плантациях. Однако волокна коры обладают высокой стойкостью к загниванию, поэтому разложение естественным способом является долговременным процессом и требует привлечения дополнительных земельных площадей. Кора масличной пальмы легко удаляется из ствола и имеет волокнистую структуру. Волокна коры масличной пальмы не используют, в результате каждый год необходимо утилизировать порядка 110 тыс. тонн коры.

Наиболее известным волокнистым отходом аграрного производства в Индии являются кокосовые волокна. Страна занимает третье место в мире по выращиванию кокосовых пальм и является крупнейшим производителем кокосов с производством 16,9 миллиардов орехов на площади под плантациями приблизительно 1,9 миллионов гектаров [6]. Ежегодно в Индии образуется 7,5 миллионов тонн кокосовых волокон. Важно отметить низкую стоимость данных отходов, зависящую в основном от транспортных расходов.

Бамбук относится к роду многолетних вечнозеленых растений семейства Злаки. Растет в основном в тропических и субтропических регионах Азии, особенно распространен во влажных тропиках. Ствол бамбука представляет собой композиционный материал, состоящий из длинных и параллельных целлюлозных волокон, проросших в одревесневшей матрице [7]. Механические свойства бамбука сопоставимы с древесиной, имея преимущества меньшего веса и короткого времени уборки, каждые 3–4 года. Кроме того, бамбук не требует повторной посадки, так как обширная корневая система быстро прорастает новыми побегами [8, 9]. Как таковое бамбуковое волокно также известно, как натуральное стекловолокно [10]. Производство бамбуковых волокон в мире составляет примерно 30 млн. т. в год [11].

Одним из старейших сельскохозяйственных растений, культивируемых человеком, является конопля. Растение высотой от 1 до 5 метров произрастает в разных климатических условиях. С каждого засеянного гектара получают до 15 тонн сухого вещества. В мире известно более 3000 способов применения конопли. Ведущим производителем технической конопли в мире является Китай. Страна производит примерно 44 тыс. т. сырья в год. Китаю принадлежат более половины из более чем 600 патентов на использование технической конопли в мире. Из волокон технической конопли в Европе производят пеньку, используемую наиболее широко в качестве альтернативного или экологически чистого строительного материала [12].

В Беларуси имеют перспективу использование в кормовых целях сельскохозяйственные отходы крапивы-двудомной, обладающей богатым природным генофондом и благодатной основой для селекции [13]. По кормовой питательности крапива близка к бобовым растениям и обладает высокой кормовой ценностью. Достоинства крапивы-двудомной состоят еще и в том, что при одинаковых факторах выращивания обеспечивается урожайность в 1,5–2 раза выше традиционных культур. Как высокоурожайную и полноценную кормовую систему крапиву выращивают в странах Балтии, Германии, США, Швеции и в некоторых хозяйствах Беларуси. В качестве кормовой культуры также широко используют крапиву коноплевидную. С каждого засеянного 1 раз в 8–10 лет гектара получают по 800–1000 ц/га зеленой массы, а при орошении – еще больше. Крапива достигает в высоту 120–150 см. Необходимо отметить, что для получения кормовой системы используются только листья крапивы, тогда как волокнистые стебли являются отходом производства.

Основные физико-механические характеристики теплоизоляционных материалов на основе растительных сырьевых волокон приведены в таблице 1. В качестве вяжущего использовали натриевое жидкое стекло. Плотность всех образцов составляла 50 кг/м³, соотношение связующего к заполнителю по массе для всех материалов принимали 1:4.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики теплоизоляционных материалов на основе растительных волокон

| № состава | Волокнистый наполнитель (страна выращивания) | Физико-механические характеристики | |
|-----------|--|---|---|
| | | коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С) | прочность на сжатие при 10% деформации, МПа |
| 1 | Очесы льна (Беларусь) | 0,041 | 0,0011 |
| 2 | Волокно льна (Беларусь) | 0,047 | 0,0018 |
| 3 | Волокно джута (Бангладэш) | 0,043 | 0,0013 |
| 4 | Волокно коры масличной пальмы (Малайзия) | 0,054 | 0,011 |
| 5 | Волокно кокоса (Индия) | 0,05 | 0,0064 |
| 6 | Волокно бамбука (Китай) | 0,043 | 0,002 |
| 7 | Волокно конопли (Китай) | 0,045 | 0,002 |
| 8 | Волокно крапивы (Беларусь) | 0,041 | 0,001 |

Среди полученных материалов из волокон растительного происхождения, образцы из очесов льна и крапивы (составы 1, 8) обладают самой низкой теплопроводностью $-0,041 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, что до 24% меньше показателей материалов на других видах заполнителей (составы 2–7). Наибольшая прочность на сжатие при 10% деформации из рассматриваемых образцов достигается при использовании волокон коры масличной пальмы. Показатель прочности на сжатие теплоизоляционного материала из волокна коры в 1,7 раза больше прочности материала на основе кокосового волокна (состав 5) и в 5–10 раз превышает прочность на сжатие при 10% деформации утеплителей на основе других волокон растениеводства (составы 1–3 и 6–8). По причине низкой прочности на сжатие материалов из растительного сырья волокнистой структуры, в дальнейших исследованиях данный показатель не определялся.

После проведенного анализа физико-механических характеристик материалов на заполнителях с учетом региона произрастания в последующих исследованиях определяли теплопроводность экспериментальных составов на основе различных видах связующего. В таблице 2 приведены показатели теплопроводности плит из очесов льна, льняных волокон и волокон крапивы при плотности образцов 50 кг/м^3 . Дисперсия ПВА и крахмал применяли в качестве вяжущих компонентов. Расход связующего по сухому веществу к заполнителю по массе для всех материалов принимали 1:4

Таблица 2 – Теплопроводность утеплителей из волокон растительного происхождения

| № состава | Состав | | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C) |
|-----------|-----------------|--------------|---|
| | заполнитель | вяжущее | |
| 1 | Очесы льна | Эмульсия ПВА | 0,047 |
| 2 | Очесы льна | Крахмал | 0,046 |
| 3 | Волокно льна | Эмульсия ПВА | 0,052 |
| 4 | Волокно льна | Крахмал | 0,051 |
| 5 | Волокно крапивы | Эмульсия ПВА | 0,049 |
| 6 | Волокно крапивы | Крахмал | 0,047 |

Из данных таблицы 2 следует, что образцы на основе очесов льна (составы 1 и 2) обладают более высоким, на 12–15% коэффициентом теплопроводности, чем состав 1 (таблица 1). Применение в качестве вяжущего эмульсии ПВА или крахмала (составы 3, 4) приводит к увеличению теплопроводности на $0,004\text{--}0,005 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ по сравнению с составом 2 (таблица 1) из льняных волокон и жидкого стекла. Аналогичная зависимость наблюдается у плит на основе крапивы, так при одинаковой плотности образцов теплопроводность составов 5, 6 увеличивается на 15–20% по сравнению с составом 8 (таблица 1).

В процессе анализа полученных результатов установлено, что утеплители волокнистой структуры из растительного сырья на вяжущем из натриевого жидкого стекла следует считать более эффективными по сравнению с утеплителями на связующем из крахмала или эмульсии ПВА. Кроме того, жидкое стекло в отличие от дисперсии ПВА и крахмала позволяет существенно повысить огнестойкость горючих заполнителей из растительного сырья, что подтверждается результатами исследований работы [14].

Заключение. Проведенные исследования на различном растительном сырье указывают на то, что в любом регионе мира присутствует альтернативная сырьевая база для производства экологически безопасных растительных теплоизоляционных материалов.

С учетом отсутствия на территории Беларуси технологии сбора, переработки и получения волокон крапивы в промышленном масштабе, наиболее оптимальным решением задачи по получению эффективного утеплителя из растительного сырья, не содержащего в составе органического, синтетического связующего с пониженной горючестью, обеспечивающего экологическую безопасность для человека, является использование очесов и волокна льна.

Список источников

1. Давыденко, Н.В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Н.В. Давыденко. - Новополоцк, 2016. - 1 с.

2. Цыганов, А.Р. Современное состояние растениеводства Республики Беларусь / А.Р. Цыганов, Л.А. Веремейчик // *Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею Омского ГАУ «Научные инновации – аграрному производству»*, г. Омск, 21 февраля 2018 г. / «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», 2018. – С. 515–520.
3. Живетин, В. В. Лен. Вчера, сегодня, завтра / В.В. Живетин, Л.Н. Гинзбург, А.И. Рыжов - М.: Изд-во Колос, 1967. – 29 с.
4. Рогаш, А. Р. Льноводство / А.Р. Рогаш, Н.Г. Абрамов, Я.А. Лебедев. Москва, ИПО Пилиграм, 1995. – 544 с.
5. Savastano Jr, H., Sustainability of vegetable fibres in construction / H. Savastano Jr, S.F. Santos, V. Agopyan Sustainability of construction materials – В. : Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. – 2009. – 67 p.
6. Kalidas, K. Organik coconut cultivation in India – problems & prospects / K. Kalidas, M. Darithiya, P. Malathi, L. Thomas // *International journal of scientific research* – 2014. – Vol. 3, p. 14–15.
7. Должонок, А.В. Влияние микроструктуры бамбука на прочностные и теплотехнические характеристики стенового материала/ А.В. Должонок, С.А. Романовский, // *Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкий государственный университет. Сер. Прикладные науки. Строительство.* - Выпуск 19 (89). С. 96–99. Электронный оптический диск - 1 диск.
8. Lakkad, SC. Mechanical properties of bamboo, a natural composite / SC. Lakkad and JM. Patel // *Fiber Science Technology*– 1980. – Vol.14, p. 319-322.
9. Akihiro, T. Application of MDI binder towards environmental friendly wood-based industry / T. Akihiro, A. Eka // *Seminar on Wood-Based Panel Products, Kuala Lumpur, 10-11 July 2001 / Forest Research Institute Malaysia, 2001, p. 83-87.*
10. Okubo, K., Development of bamboo-based polymer composites and their mechanical properties / K. Okubo, K Fuji, Y. Yamamoto // *Composites* – 2004. - Part A, Vol. 35, p. 377-383.
11. Faruk, O. 2012. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010 / O. Faruk, AK. Bledzki, HP. Fink, M. Sain // *Progress in Polymer Science* – 2012. Vol. 37, p. 1552-1595.
12. Amziane, S. Recommendation of the RILEM TC 236-BBM: characterisation testing of hemp shiv to determine the initial water content, water absorption, dry density, particle size distribution and thermal conductivity / S. Amziane, F. Collet, M. Lawrence and others // *Materials and Structures* – 2017.- P. 1-12.
13. Яковчик, Н.С. Крапива как нетрадиционный корм в животноводстве / Н.С. Яковчик, С.Г. Яковчик // *Наше сельское хозяйство* – 2017. – С 2–5.
14. Давыденко, Н.В. Эксплуатационно-технологические характеристики костросоломенных плит / Н. В. Давыденко // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки.* – 2011. – № 8. – С. 85–90.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ТЕРМОСТОЙКОЙ ЦИНКНАОЛНЕННОЙ ГРУНТ-ЭМАЛЬЮ НА ОСНОВЕ ЭТИЛПОЛИСИЛИКАТА

Шинкарева Е.В., Статкевич П.И., Леонович С.Н., Будревич Н.А.

Цель работы – изучение возможности получения антикоррозионной термостойкой цинк-наоленной грунт-эмали на основе этилполисиликата, модифицированного наночастицами углерода, исследование процесса окисления частиц цинка при нагреве на воздухе в присутствии силикатного связующего и изучение физико-химических свойств покрытий.

Экспериментальная часть. В качестве связующего использовали этилполисиликат (эфир кремниевой кислоты) марки Dynasylan MKS (Evonik Industries AG) с массовым содержанием SiO_2 , равным 19.3%; металлического пигмента – цинковую пыль марки ZnDustSF производства Eckart; наномодификатора – углеродные нанотрубки HCU-5 (ГОСТ СТБ 1873-2008) – количество структурированного углерода в материале – более 90%; средний размер трубок и волокон 10-20 нм; массовая доля графитоподобного углерода – 3-4%; массовая доля аморфного углерода – 3-7%; насыпная плотность – $0.2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$; удельная адсорбционная поверхность – $70-80 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$; антиседиментационного агента, стабилизатора пигмента и антикоррозионной добавки – гидрофобный пирогенный диоксид кремния, поверхность которого обработана диметилдихлорсиланом (AERO-SILR 972, Evonik Industries AG). Содержание SiO_2 – $\geq 99.8\%$, углерода – 0.6-1.2%, средний размер частиц – 16 нм, удельная их поверхность – $110 \pm 20 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$.

Соотношение Dynasylan MKS : Zn : аэросила составляло 1 : 20 : 0.2 (в пересчете на сухое вещество). Наномодификатор вводили в количестве 0,2% (в пересчете на сухое вещество). Количество цинкового пигмента в композициях сохранялось постоянным.

Для изучения структуры образцов применялся сканирующий электронный микроскоп LEO 1420 и оптический металлографический микроскоп ММР-2Р. Термографические исследования проводили на приборе NETZSCH STA 409 PC/PG при скорости подъема температуры $5^\circ\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$ и навеске 53.3 мг в атмосфере воздуха в интервале температур 20-900°C.

Структурно-реологические исследования образцов проводили на реометре Physica MCR 101 (Anton Paar Germany GmbH) с программным обеспечением RheoPlus с использованием измерительного устройства «пластина-пластина» с зазором между пластинами 0.05 мм.

Относительную твердость покрытий определяли с помощью маятникового прибора 2124 ТМЛ (Россия) по ГОСТу 5233-89, адгезию – методом параллельных надрезов по ГОСТу 15140-78, толщину сухого слоя лакокрасочного покрытия – по ГОСТу 6-10-403-77 с помощью магнитного толщиномера МТЦ-2М-4.

Стойкость покрытий к воздействию климатических факторов в условиях умеренно-континентального климата для эксплуатации ХЛ1, УХЛ1 тип атмосферы I (метод 3) – определяли в климатической испытательной камере КРК-800 3826/16. Один цикл испытаний включал: выдержку образцов при 40°C и относительной влажности 97% в течение 2 ч; – при -30°C – 6 ч; – при 15-30°C по режиму дождь – 5 ч и без дождя – 5 ч; – при -60°C – 4ч; – при 15-30°C и относительной влажности 80% – 6 ч.

Электросопротивление покрытий измеряли при помощи комбинированного прибора тераомметра Е-6-13А. Удельное объемное сопротивление покрытий определяли расчетным путем [5].

В составе цинковой пыли присутствуют частицы шарообразной и овальной формы, HCU-5 – округлой формы и нанотрубки, аэросила – агломерированные мелкодисперсные частицы. Данные рентгенофазового анализа наночастиц углерода HCU-5 свидетельствуют о присутствии в нем графита, $\text{Fe}_{0.94}\text{C}_{0.06}$ и $\text{Fe}_{2.9}\text{O}_4$ [6].

На микрофотографии Dynasylan MKS, высушенного при 20°C, можно увидеть совокупность частиц овальной (близкой к округлой) формы, находящихся в затвердевшем каркасе.

По данным РФА Dynasylan MKS, высушенный при 20°C представляет собой аморфный диоксид кремния с весьма малой степенью кристалличности [номер фазы по каталогу ASTM

00-029-0085]. После термообработки этилполисиликата DynasylanMKS в интервале температур 400-700°C, он становится рентгеноаморфным.

На электронно-микроскопических снимках высушенной при 20°C композиции, содержащей DynasylanMKS и Zn, можно увидеть, что связующее обволакивает и хорошо смачивает поверхность частиц цинка, склеивая их между собой. В пленкообразующем покрытии отдельные частицы SiO₂. На микрофотографии образца, термообработанного при 400°C, поверхность частиц цинка укрыта коркообразным покрытием, в котором находятся мелкодисперсные частицы диоксида кремния. При этом округлая форма частиц цинка сохраняется. В результате термообработки образца при 600°C, покрытие является плотным, монолитным, бездефектным, полностью обволакивающим частицы цинка.

ДТА-кривая DynasylanMKS имеет один эндотермический эффект при температуре 91°C и три экзотермических эффекта различной интенсивности при температурах 291°C, 353°C, 572°C. Эндозффект является суммирующим эффектом процессов, сопровождающихся выделением паров воды и органических составляющих, а также, вероятно, частичной термодеструкцией этилсиликатного геля. Потери массы в температурном интервале 20-260°C составляют 12.7%. Наиболее активно процесс термодеструкции DynasylanMKS протекает в температурном интервале 260-640°C. При этом потери массы составляют 31.0%. Процесс термоокислительной деструкции протекает вплоть до температуры 900°C. Общие потери массы составляют 45.9%.

На кривой ДТА цинкового пигмента - эндотермический пик при температуре 414°C, который соответствует плавлению цинка [7]. Окисление цинкового пигмента начинается при температуре 315°C. Это подтверждается данными ТГ и ДТА. Так, в интервале температур 315-660°C наблюдаются два экзотермических пика с максимумами при температурах 327°C и 543°C. В данном температурном интервале, по-видимому, в результате плавления металла внутри частиц и объемного расширения расплава, происходит растрескивание оксидной пленки и непосредственный контакт расплава цинка с кислородом воздуха [8]. Прирост массы при достижении температуры 660°C составляет 21.3%. В температурном интервале 660-900°C окисление частиц металла лимитируется диффузией окислителя (кислорода воздуха) через образовавшуюся пленку ZnO на частицах цинка, которая становится плохо проницаемой для окислителя. Низкая проницаемость оксидной пленки на частицах цинкового пигмента подтверждается малой долей металла окислившегося при нагреве образца в температурном интервале 660-900°C - 0.3%.

Рентгенофазовым анализом как исходного цинкового пигмента, так и термообработанного при температурах 400°C, 500°C 600°C обнаруживается присутствие двух фаз – Zn и ZnO. В образце, термообработанном при 700°C, РФА обнаруживает только одну фазу – оксид цинка.

На кривой ДТА композиции, содержащей цинковую пыль и DynasylanMKS, наблюдаются два эндотермических пика с максимумами при 84°C, 414°C и два экзотермических – при 304°C и 564°C. Потеря массы образца по достижении 450°C составляет 20.5%. На наш взгляд в области температур 450-900°C наблюдается два процесса – небольшое окисление цинка и дальнейшая термодеструкция этилполисиликатного связующего. В соответствии с ТГ, в температурном диапазоне 450-760°C прирост массы образца составляет 5.1%, - 760-900°C потери массы - 0.2%. Эндотермический пик при 414°C соответствует плавлению цинка.

Следует отметить, что в присутствии DynasylanMKS процесс окисления частиц цинка начинается только при достижении 450°C, а не при 315°C, как это характерно для исходного образца цинкового пигмента. При этом и прирост массы образца меньше \approx в 4.2 раза в сравнении с индивидуальным порошком.

В образце композиции цинковой пыли и DynasylanMKS, высушенной при 20°C, обнаружена одна фаза – Zn, термообработанной в интервале температур 400-600°C - две фазы – Zn и ZnO, при 700°C – одна фаза ZnO. На всех рентгенограммах в диапазоне 20-30 2 θ присутствуют размытые пики, указывающие на присутствие фазы аморфного диоксида кремния.

На кривой ДТА композиции, содержащей цинковый пигмент и DynasylanMKS, аэросил и нанодобавку, в интервале температур 460-740°C наблюдается уширенный экзотермический пик с максимумом при 650°C и два эндотермических пика при 84°C и 415°C. Потеря массы

образца по достижении 460°C составляет 18%, прирост массы в интервале температур 460-740°C – 4.8%, масса образца в интервале температур 740-900°C остается постоянной.

На микрофотографии данного образца, высушенного при 200°C, видно, что частицы цинка сопряжены между собой и их поверхность покрыта пленкой, включающей в себя паутиноподобные включения аэросила и нанодобавки, а также мелкие округлые частицы диоксида кремния.

На кривых вязкости проявляется участок *I* - пластического течения, характеризующийся течением структурирующегося раствора с постепенным переходом к участку *II* - течение ориентированных под действием механического поля анизотропных агрегатов. Связующее DynasylanMKS и композиции на его основе являются структурированными жидкообразными системами, относящимися к неньютоновским жидкостям со значительным падением вязкости с увеличением скорости сдвига. Исходный DynasylanMKS при $D_r = 1 \text{ с}^{-1}$ характеризуется максимальной вязкостью (η_{max}) не разрушенной структуры, равной 2.63 Па · с. Присутствие аэросила, наномодификатора или цинковой пыли в связующем повышает его вязкость при малых скоростях сдвига. Так, при $D_r = 1 \text{ с}^{-1}$ для композиции Dynasylan MKS+цинковая пыль, характерно увеличение η_{max} до 9.19 Па · с; Dynasylan MKS+AEROSIL R 972 – до 12.09 Па · с; Dynasylan MKS+НСУ-5 - до 22.15 Па · с.

Наблюдается условный динамический (бингамовский) предел текучести P_{k2} , указывающий на коагуляционное структурообразование в системе, и критическое напряжение сдвига P_m , показывающее границу предельного разрушения структуры. Введение добавок в DynasylanMKS повышает прочность структуры образованных композиций по сравнению с исходным связующим, о чем свидетельствует увеличение значений реологических характеристик P_{k2} и P_m . Более высокие значения P_{k2} композиций с добавками свидетельствуют об упрочнении структурного каркаса. По влиянию на прочность структуры этилполисиликата добавки располагаются в следующий ряд, где каждая последующая добавка упрочняет структуру меньше, чем предыдущая: НСУ-5 > AEROSIL R 972 > Zn.

Приготовление однокомпонентной грунт-эмали осуществлялось с помощью лабораторного диссольвера с фиксированной скоростью вращения фрезы 900 оборотов в минуту в металлической емкости. В ее рецептуре наряду со связующим, цинковой пылью, аэросилом, нанодобавкой использованы растворители (нефтяной сольвент и уайт-спирит).

Готовую композицию наносили кистью на предварительно обезжиренные растворителем Р5 металлические образцы из стали марки 3 кп по ГОСТ 9.083-78 размером 150x70x1 мм. Наблюдалось хорошее смачивание подложки. Степень отверждения при 20°C и относительной влажности не менее 35% однослойного покрытия «до отсутствия отлипа» достигалась через 1 ч, спустя 24 ч наносили второй слой. Толщина однослойного покрытия составляла 80 мкм, двухслойного – 160 мкм.

На поверхности покрытия образца после 115 циклов его испытаний в условиях умеренно-континентального климата наблюдаются изменения в виде отдельных светлых пятен, белая рыхлая ржавчина отсутствует, на поверхности металла под покрытием следы коррозии не выявлены.

Введение нанодобавки в композицию приводит к повышению твердости покрытий. Оптимальное время сушки покрытий при 20°C - 7 сут. Наибольшие значения твердости покрытия приобретают после их термообработки при 400°C в течение 1 ч, но при этом наибольшей твердостью характеризуются покрытия, содержащие нанодобавку.

Величина удельного объемного сопротивления покрытий зависит от их состава. Так, покрытия, сформированные на основе композиции, содержащей DynasylanMKS, цинковую пыль и аэросил, характеризуются более высокими значениями удельного сопротивления по сравнению с покрытиями системы (Dynasylan MKS)-цинк-аэросил-нанодобавка. Термическая обработка покрытий существенного влияния на величину их сопротивления не оказывает.

Капли воды на двухслойном покрытии, высушенного при 20°C в течение 7 сут поверхности не растекаются по ней, наблюдается так называемый «эффект лотоса», возникший как следствие низкой смачиваемости поверхности.

Выводы. 1. Установлено, что окисление частиц цинковой пыли начинается при достижении температуры 315°C, в присутствии этилполисиликата DynasylanMKS процесс их окисления несколько замедляется. В области температур 450-900°C наблюдается протекание двух процессов – термодеструкция связующего и небольшое окисление частиц цинка.

2. Установлено, что по влиянию на прочность структуры этилполисиликата добавки располагаются в следующий ряд, где каждая последующая добавка упрочняет структуру меньше, чем предыдущая: HCV-5 > AEROSIL R 972 > ZnDustSF.

3. Предложен состав антикоррозионной, термостойкой грунт-эмали. Коррозии металла под покрытием после 115 циклов испытаний для эксплуатации ХЛ1, УХЛ1 не наблюдалось. Длительная термостабильность покрытий составляет не менее 400°C, кратковременная – до 600°C.

4. Присутствие в составе грунт-эмали нанодобавки способствует увеличению твердости покрытий и уменьшению их сопротивления. Покрытия устойчивы к действию дождя, наблюдается так называемый «эффект лотоса».

5. Цинкэтилсиликатная наномодифицированная грунт-эмаль является однокомпонентной, может применяться в условиях умеренно-континентального климата при температурных колебаниях.

Список источников

1. Шинкарева, Е.В. // Лакокрасочные материалы и их применение. 2017. – № 3. – С. 68-78.
2. Шитов Д.Ю., Бабина К.С., Пачина А.Н., Кравченко Н.В. // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. XXVIII. № 3(152). С. 83-85.
3. Шитов Д.Ю., Илатовский Д.А., Жиронкина Н.В., Кравченко Н.В., Будницкий Ю.М. // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. XXVIII. № 3(152). – С. 86-88.
4. Херрверт А., Кениг А., Зименс М. // Лакокрасоч. материалы и их применение. 2014. – № 9. С. 39-41
5. Кузнецов С.И., Рогозин К.И. Краткий курс физики: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 215 с.
6. Шинкарева Е.В. // Лакокрасоч. материалы и их применение. 2017. – № 3. – С. 68-78.
7. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1978. – С. 392.
8. Похил П.Ф., Беляев А.Ф., Фролов Ю.В. и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах. М.: Наука, 1972. – 294 с.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО АРБОЛИТА С НАПРАВЛЕННОЙ УКЛАДКОЙ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Ягубкин А.Н.

Введение. В последние годы всё большую активность в мире набирает зелёное строительство (Green Building). Ряд стран уже вводят экологические стандарты по проектированию и строительству [1]. На первый план всё чаще выходят такие показатели как: экологичность, экономичность, энергоэффективность, обеспечение здорового образа жизни и комфортности [2].

Всё чаще появляются медицинские исследования о вреде здоровью от зданий и сооружений. Так с ростом высоты (от 7-го этажа и выше) из-за экранирования железобетонных конструкций уменьшается воздействие геомагнитного поля земли, что приводит к сердечно-сосудистым заболеваниям [3]. В многоэтажных зданиях интерференция от сетей wi-fi и bluetooth приводит к онкологическим заболеваниям и заторможенности развития детей [4]. Узкие маленькие комнаты вызывают склонность к депрессии, алкоголизму; у детей – замкнутость, аутизм. В помещениях из железобетонных конструкций низкая влажность, что приводит к астматическим заболеваниям. В помещениях со стенами из ячеистого бетона высокая влажность в течение первых 3-х лет эксплуатации приводит к аллергиям, грибкам, инфекционным заболеваниям. Пенополистирол при проветривании помещения может выделять пары, раздражающие глаза и слизистую оболочку. Поливинилхлорид (пвх) выделяет газы влияющие на нервную систему. Силикатный кирпич и фосфогипс выделяет газ влияющий на органы дыхания, поэтому необходимо постоянное проветривание. Для склеивания волокон минеральной ваты используются вещества содержащие фенолы и формальдегиды [5].

Общепризнанным лидером по экологичности является древесина и материалы на её основе, в т.ч. арболит (зарубежный аналог – woodconcrete). Данный материал распространился и активно применяется по всему миру [6-12].

Сочетание цемента и древесины приводит к созданию материала, который способен регулировать климат внутри помещения, в т.ч. регуляция влажности происходит из-за растительного происхождения заполнителя [6]. При этом материал обладает высокой долговечностью [7]. В качестве заполнителя могут использоваться различные отходы растительного происхождения [8], в качестве частичной замены цемента — зола или глина [8, 9]. Ещё одной особенностью использования этого материала является использование только местного сырья. Так, в Канаде используют опилки канадского клёна [10], в Республике Беларусь — отходы сельскохозяйственной деятельности [11].

Всё больше уделяется внимания изучению структурно-механических свойств данного материала, в т.ч. прочности, модуля Юнга, модуля объёмного сжатия, теплопроводности, теплоёмкости и др. [6-12].

Основная часть. Одними из главных свойств, вызывающие такую популярность материала являются теплотехнические свойства. В работе [9] проводится изучение теплопроводности материала, факторов на неё влияющих.

При направленной укладке заполнителя, благодаря анизотропным свойствам древесины, вертикальное расположение древесного заполнителя позволит снизить теплопроводность арболита [13].

Теоретически это можно обосновать, основываясь на электротепловой аналогии по теории Максвелла-Бургена и вытекающей из нее формулы Рэлея-Оделевского [14]:

$$\lambda = K_1 \lambda_1 \frac{2\lambda_1 + \lambda_2 - 2\phi(\lambda_1 - \lambda_2)}{2\lambda_1 + \lambda_2 + \phi(\lambda_1 - \lambda_2)}, \quad (1)$$

где λ , λ_1 , λ_2 – соответственно коэффициенты теплопроводности дисперсной системы, дисперсной среды и дисперсной фазы ($\lambda_1 = 0,87$ Вт/м $^{\circ}$ С – теплопроводность цементного камня с учетом открытых и закрытых пор [14];

$\lambda_2 = 0,18$ Вт/м $^{\circ}$ С – древесный заполнитель при горизонтальной ориентации [146], $\lambda_1 = 0,09$ Вт/м $^{\circ}$ С – древесный заполнитель при вертикальной ориентации [15]); $\phi = 0,7$ – объемная концентрация заполнителя, определена в [16];

K_1 - поправочный коэффициент, позволяющий рассчитать теплопроводность системы с взаимопроницаемыми компонентами, к которым относится в частности цементный камень, в

зависимости от отношения λ_2 / λ_1 и объемной концентрации заполнителя ϕ [14] ($K_1 = 0,41$ - при горизонтальной ориентации древесного заполнителя, $K_1 = 0,35$ - при вертикальной ориентации древесного заполнителя).

Подставив все значения в формулу 1, получим коэффициент теплопроводности для арболита с горизонтальной ориентацией заполнителя:

$$\lambda = 0,41 \cdot 0,87 \cdot \frac{2 \cdot 0,87 + 0,18 - 2 \cdot 0,7 \cdot (0,87 - 0,18)}{2 \cdot 0,87 + 0,18 + 0,7 \cdot (0,87 - 0,18)} = 0,14 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$$

Для арболита с вертикальной ориентацией заполнителя:

$$\lambda = 0,35 \cdot 0,87 \cdot \frac{2 \cdot 0,87 + 0,09 - 2 \cdot 0,7 \cdot (0,87 - 0,09)}{2 \cdot 0,87 + 0,09 + 0,7 \cdot (0,87 - 0,09)} = 0,09 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$$

Нормативное значение коэффициента теплопроводности для арболита с беспорядочной ориентацией заполнителя составляет $0,12 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$ [15]. Следовательно, при вертикальной ориентации древесного заполнителя возможно добиться снижения коэффициента теплопроводности на 25 %.

В статье [9] предложено использовать формулу для определения коэффициента теплопроводности с учётом пористости:

$$\lambda = \frac{(1 - \varepsilon_c) \lambda_{sm} + \varepsilon_c \cdot \lambda_{air}}{\tau_{dry}}, \quad (2)$$

где ε_c – макропористость материала, %; λ_{sm} – коэффициент теплопроводности матрицы (цементного камня), $\text{Вт/м} \cdot \text{°С}$; λ_{air} – коэффициент теплопроводности воздуха (цементного камня), $\text{Вт/м} \cdot \text{°С}$; τ_{dry} – коэффициент, зависящий от размера древесного заполнителя.

Подставив данные полученные в [9, 14-16] в формулу 2 получим:

$$\lambda = \frac{(1 - 0,7) \cdot 0,4321 + 0,7 \cdot 0,0259}{1,5} = 0,09 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$$

Таким образом, арболит с направленной укладкой заполнителя может обеспечить достаточно низкий коэффициент теплопроводности при конструкционной прочности, что подтверждается экспериментальными исследованиями [15].

Кроме того, в работах [17, 18], приводятся данные об уникальных свойствах арболита, благодаря его высокой теплоемкости. Так например, для стены толщиной 40 см для нагрева до 18 °С требуются следующие расходы энергии:

- бетон тяжелый с утеплителем — 10000 кДж;
- камни керамические с утеплителем — 9000 кДж;
- ячеистый бетон — 4000 кДж;
- арболит — 9000 кДж.

При сопоставимых расходах на нагрев с тяжелым бетоном и керамическими камнями арболит при этом удерживает (аккумулирует) теплоту в течении 27 часов. В то время как остальные материалы при отрицательной наружной температуре остывают до 0 °С через:

- бетон тяжелый с утеплителем — 6 часов;
- камни керамические с утеплителем — 9 часов;
- ячеистый бетон — 3 часа.

Таким образом, арболит является стеновым тепловым аккумулятором и требует значительно меньших энергетических затрат на создание и поддержание комфортных условий проживания. Т.е. остальные материалы при прочих равных условиях потребляют в течении суток больше энергии на:

- бетон тяжелый с утеплителем — 30000 кДж;
- камни керамические с утеплителем — 15000 кДж;
- ячеистый бетон — 25000 кДж.

С помощью теплотехнического калькулятора ограждающих конструкций [19] можно также подтвердить хорошие теплотехнические свойства арболита с направленной укладкой заполнителя.

На рисунке 1 представлен расчёт утепления и точки росы.

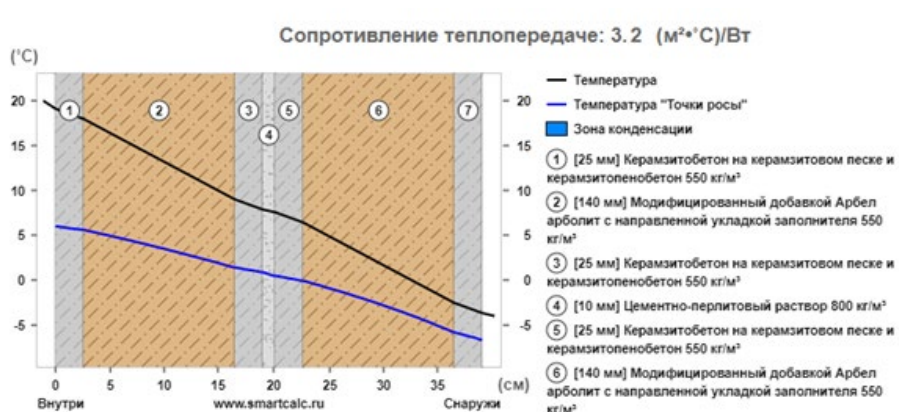


Рисунок 1 — Расчёт распределения температуры (верхняя кривая) и температуры точки росы (нижняя кривая) внутри стены из арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

Как видно из рисунка 1 графики распределения температуры и температуры точки росы не пересекаются, следовательно влага не будет накапливаться внутри стены.

На рисунке 2 приведен расчет защиты от переувлажнения методом безразмерных величин. Расчёт показывает, что плоскость максимального увлажнения внутри стены не появляется, и слой ограждающей конструкции удовлетворяет нормам по защите от переувлажнения.

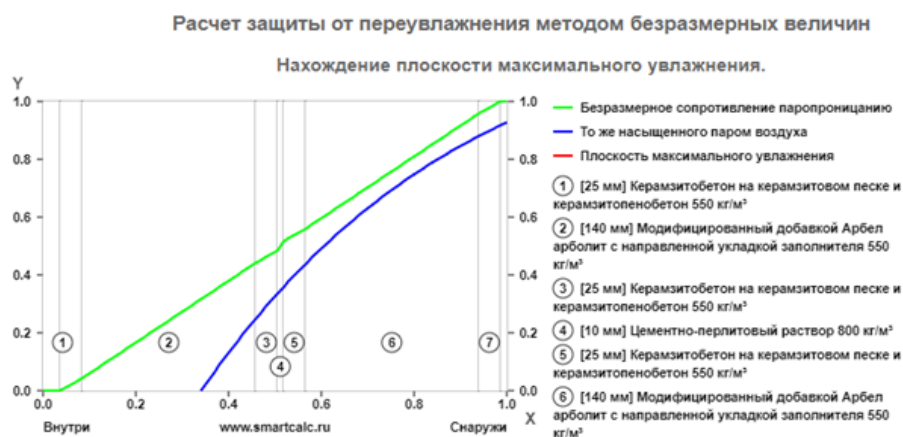


Рисунок 2 – Расчет защиты от переувлажнения методом безразмерных величин (верхняя кривая — безразмерное сопротивление паропроницанию, нижняя кривая - безразмерное сопротивление насыщенного паром воздуха) для арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

На рисунке 3 выполнен расчёт тепловых потерь через квадратный метр ограждающей конструкции.

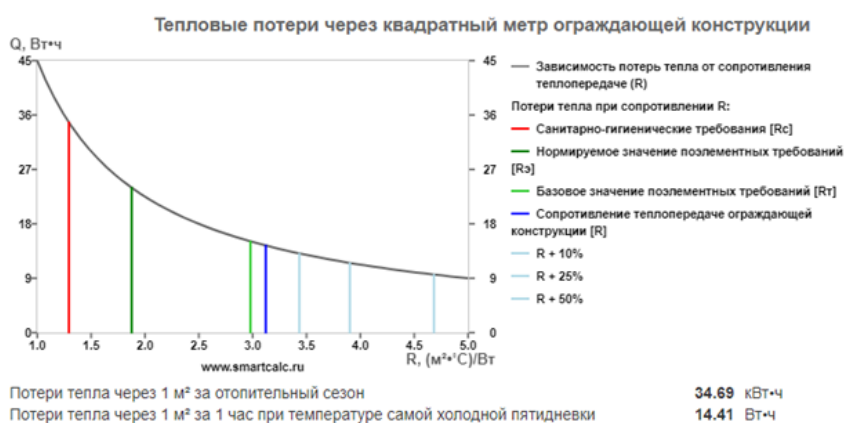


Рисунок 3 — Расчет тепловых потерь через квадратный метр для арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

Расчёт подтверждает эффективность ограждающей конструкции из арболита с направленной укладкой заполнителя.

Расчёт выполненный в программе [20] позволяет определить основные теплотехнические свойства арболита с направленной укладкой заполнителя (рисунок 4).

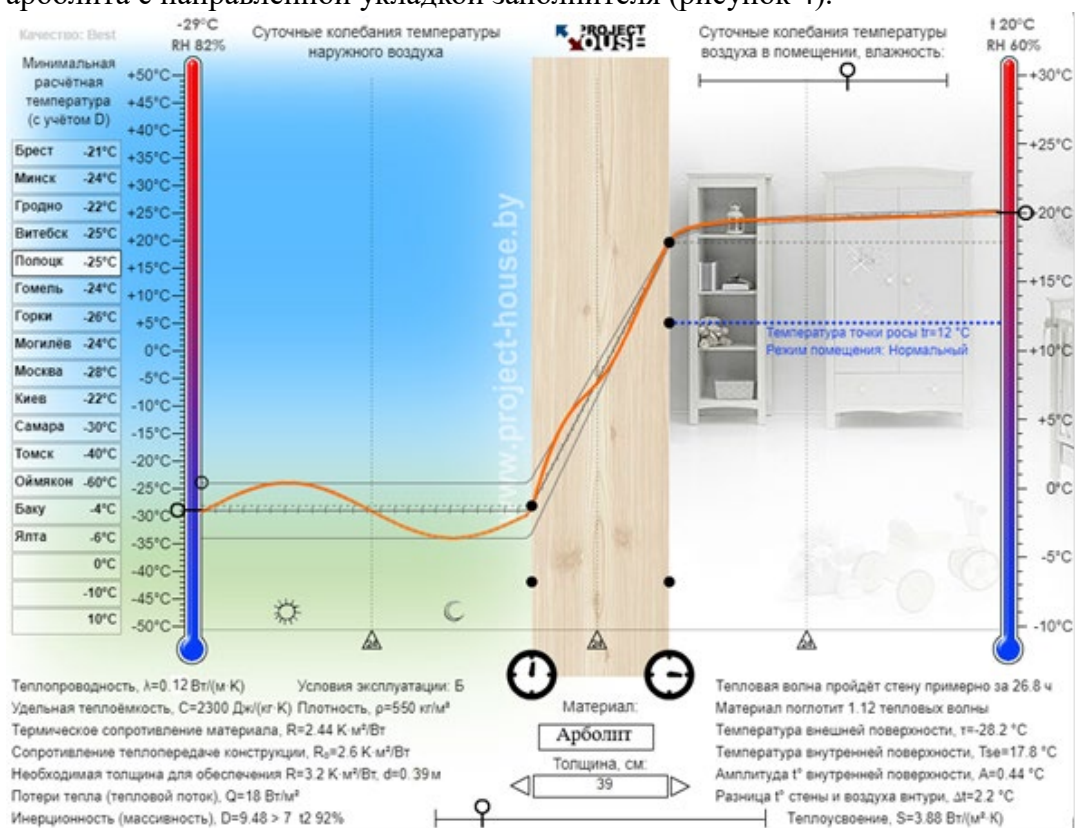


Рисунок 4 — Расчет определение основных теплотехнических свойств арболита с направленной укладкой заполнителя с отделочными слоями из керамзитобетона с кладкой блоков на цементно-перлитовый раствор

По всем приведённым выше показателям арболит с направленной укладкой заполнителя не только соответствует требованиям нормативных документов, но и по многим превосходит традиционные аналоги.

Закключение.Зеленое строительство значительно активизировало процесс поиска и изучения экологически чистых материалов. Зарубежные исследования подтверждают эффективность сочетания цемента и древесины. Направленная укладка заполнителя в арболите позволяет получить уникальный по своим теплотехническим свойствам материал с низкой теплопроводностью, конструкционной прочностью и высокой теплоемкостью, что подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями. Такой материал в стеновой конструкции является не только несущим элементом, но и тепловым аккумулятором.

Список источников

1. Green Awards [Электронный ресурс] / Экологический стандарт BREEAM. – Режим доступа: <http://www.greenawards.ru/ru/green-awards-history/green>. – Дата доступа: 02.10.2018.
2. Журнал «Архитектура и строительство» [Электронный ресурс] / Зелёное строительство. – Режим доступа: <http://ais.by/article/zelenoe-stroitelstvo>. – Дата доступа: 02.10.2018.
3. Медицинский форум [Электронный ресурс] / Высота и здоровье. – Режим доступа: <https://www.medikforum.ru/medicine/61010-zhit-vyshe-7-etazha-opasno-dlya-zdorovya.html>. – Дата доступа: 02.10.2018.
4. Wilson, J. D. Modeling the effects of biological tissue on RF propagation from a wrist-worn device / J. D. Wilson, J. A. Blanco, S. Mazar, M. Bly // 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. doi:10.1109/embc.2014.6944290. – 2014. – p. 3146-3149.

5. Правда-TV[Электронный ресурс] / Экология строительных материалов. – Режим доступа: <http://www.pravda-tv.ru/2013/03/11/22874/e-kologiya-stroitel-ny-h-materialov>. – Дата доступа: 02.10.2018.
6. Li, M. Mechanical characterization of concrete containing wood shavings as aggregates / M. Li, M. Khelifa, M. El Ganaoui // International Journal of Sustainable Built Environment. – 2017. – №6. – p. 587-596.
7. Coatanlem, P. Lightweight wood chipping concrete durability / P. Coatanlem, R. Jauberthie, F. Rendell // Construction and Building Materials. – 2006. – №20. – p. 776-781.
8. Chowdhury, S. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview / S. Chowdhury, M. Mishra, O. Suganya // Ain Shams Engineering Journal. – 2015. – №6. – p. 429-437.
9. Bouguerra, A. Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete prepared from clay, cement, and wood aggregates / A. Bouguerra, A. Ledhem, F. de Barquin, R.M. Dheilly, M. Que'neudec // Cement and Concrete Research. – 1998. – Vol. 28. - №8. – p. 1179-1190.
10. Koohestani, B. Experimental investigation of mechanical and microstructural properties of cemented paste backfill containing maple-wood filler / B. Koohestani, A. Koubaa, T. Belem, B. Bussière, H. Bouzahzah // Construction and Building Materials. – 2016. – №121. – p. 222-228.
11. Должнонок, А.В. Определение теплофизических свойств стеновых материалов на растительных заполнителях в климатической камере / А.В. Должнонок, Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – С. 263–271.
12. Akkaoui, A. Experimental and micromechanical analysis of the elastic properties of wood-aggregate concrete / A. Akkaoui, S. Caré, M. Vandamme // Construction and Building Materials. – 2017. – №134. – p. 346-357.
13. Ягубкин, А.Н. Модифицированный арболит с направленной укладкой заполнителя как стеновой тепловой аккумулятор / А.Н. Ягубкин // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – С. 281–288.
14. Довжик В.Г. Учет эксплуатационной влажности бетонов при расчете и нормировании их теплопроводности / В.Г.Довжик // Бетон и железобетон. – 2008. – № 3. – С. 6–10.
15. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. – Введ. 01.07.2007. - Минск.: Минстройарх, 2007. – 35 с.
16. Ягубкин, А.Н. Инновационный конструкционно-теплоизоляционный арболит с заданными свойствами / А.Н. Ягубкин // Материалы IV международной научно-практической конференции «Методология и принципы ценообразования в строительстве. Инновационные технологии в строительной отрасли и их внедрение. ВІМ-технологии», Минск, 24-25 мая 2017г. / РУП "РНТЦ"; редкол.: Кручанова Л.Ф. и др. – Минск, 2017. – С.68-70.
17. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.: ил.
18. Бужевич, Г.А. Арболит / Г.А. Бужевич. – М.: Изд-во литер. по строительству, 1968. – 244 с.
19. Онлайн калькуляторы теплотехники ограждающих конструкций [Электронный ресурс] / Теплотехнический калькулятор. – Режим доступа: <https://www.smartcalc.ru>. – Дата доступа: 02.10.2018.
20. Project - House [Электронный ресурс] / Теплоёмкость, теплоусвоение и инерция. – Режим доступа: <https://www.project-house.by/heat-capacity>. – Дата доступа: 02.10.2018.

ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ ПОЛЗУЧЕСТИ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

Якимович В.Д.

Ползучесть является, на наш взгляд, одним из важнейших показателей бетона, позволяющим прямым или косвенным образом прогнозировать как долгосрочное поведение нагруженной конструкции во время ее эксплуатации в здании или сооружении, так и коррозионную устойчивость бетона этой конструкции.

В настоящее время существует большое количество теорий, так или иначе объясняющих возникновение и развитие ползучести.

Так, многие разделяют точку зрения Базанта, который считает [1], что ползучесть обусловлена выдавливанием воды из промежутков между частицами цементного камня под влиянием внешней силы.

Безусловно, ползучесть очень чувствительна к влажности. В то же время, хотелось бы заметить, что при относительной влажности воздуха 45...50%, а именно при такой минимальной влажности уже развивается ползучесть [1], влага остается лишь в порах бетона с радиусом менее 16 А. В порах с таким радиусом за счет мениска сконденсированной влаги развивается усилие стягивания стенок порядка 70 Мпа, что значительно превышает усилия, возникающие в бетоне конструкций при эксплуатации и при которых наблюдается и развивается ползучесть.

Более того, замечено [1], что высушенные образцы цементного камня, увлажняемые при нагружении, не отдавали, а поглощали воду, и ползучесть при этом развивалась с высокой скоростью.

Фельдман предположил [1], что при увлажнении за счет увеличения радиуса мениска сконденсированной в межслоевом пространстве влаги происходит набухание бетона. При высушивании же за счет уменьшения радиуса мениска воды возникает сила, стремящаяся сблизить поверхности слоев, что вызывает ползучесть бетона.

На это хотелось бы возразить, что, по закону сохранения, насколько бетон набухал при увлажнении, настолько же он должен был бы и уменьшиться в объеме при высушивании. Поэтому процесс, описанный таким образом, скорее можно было бы назвать усадкой при высыхании.

Кроме того, при такой схеме описания механизма ползучести не может быть увеличения удельной поверхности цементного камня. А ведь известно [1], что удельная поверхность цементного камня, измеренная методом адсорбции азота после нагружения, больше первоначальной на 10...20%. Естественно, что при этом нагружение сопровождалось ползучестью.

Виттман [1] предположил, что «при высокой влажности среды (>40%) давление набухания превосходит другие силы связи, удерживающие вместе частицы цементного камня, что и вызывает ползучесть».

Рассмотрим схему на рис. 1.

На ней изображен капилляр, в котором находится влага, сконденсированная при относительной влажности 40 (участок а) и 50 (участок в) процентов.

Как мы уже упоминали, радиус капилляра «в» будет не более 16 А, и при этом в нем будет развиваться усилие сжатия не менее 70 МПа. И это при допущении, что значение поверхностного натяжения воды мы приняли как близкое к воде свободной, а не капиллярной. А ведь в такой близости от поверхности (расстояние от центра около 5 мономолекулярных слоев), которая структурирует адсорбированную воду, можно и нужно ожидать изменения значения поверхностного натяжения воды, причем, мы уверены, в сторону его увеличения.

Радиус капилляра зоны «а» будет меньше, чем в зоне «в». Значительно будет отличаться и поверхностное натяжение воды в нем, и, соответственно, будет больше сила взаимодействия стенок. Появление воды в зоне «в» снизит усилие взаимодействия стенок за счет появления новой условной границы раздела фаз а-в, но снижение это, на наш взгляд, будет незначительным. И уж тем более невозможно предположить и объяснить возможность проникновения воды в зону «а» с последующей раздвижкой стенок капилляра. Это невозможно по той причине, что степень структурированности воды в этой зоне соответствует структуре практически твердого тела.

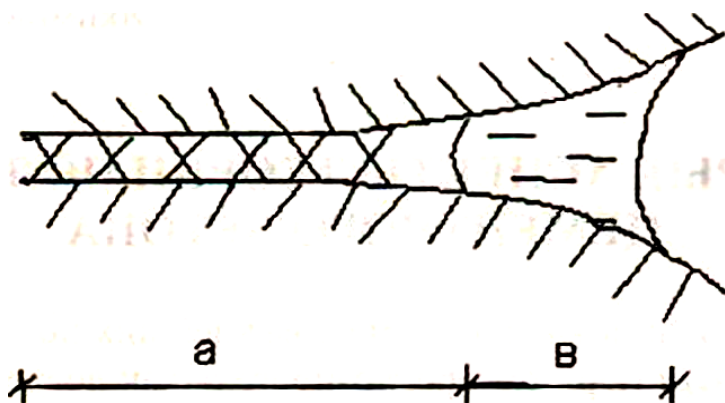


Рисунок 1

Поясним, что имеется в виду, на примере. Ребенок, который лепит «бабу» или «пирожки» в форме в песочнице из увлажненного песка, имеет дело с тем же явлением. Однако отличие состоит в том,

что радиус капилляров смоченных песчаных частичек, который скрепляет их, настолько велик, что при приливании воды изменение поверхностного натяжения столь значительно, что частицы песка под действием силы тяжести распадаются.

Как видим, у приведенных гипотез имеются недостатки. Однако их объединяет одно важное обстоятельство: все авторы при выдвигании гипотез опирались на необходимость наличия в цементном камне слоев, поведение которых так или иначе обуславливало ползучесть.

Наличие слоев в цементном камне, соединенных между собой водными прослойками, предполагают многие другие исследователи. Причем следует отметить, что делали они эти выводы или предположения, изучая самые различные стороны поведения камня. Однако обнаружить в печати убедительное объяснение появления этих слоев при твердении цемента нам не удалось. Тем не менее, мы также убеждены, что ползучесть в кристаллическом по своей природе материале без наличия слоистой структуры невозможна.

Основываясь на этом и не вдаваясь в подробности нашего представления об образовании слоистости в цементном камне, попробуем с этих позиций проследить за возникновением и развитием ползучести. Но перед этим зададимся постулатом, что не вся гидратированная структура цементного камня, а лишь ее часть, пусть даже ничтожно малая по отношению ко всей прогидратировавшей массе, состоит из слоев. Это положение может быть подтверждено относительно низкими значениями удельной поверхности цементного камня, определенными по адсорбции азота на образцах, высушенных при нулевой влажности и глубоком вакууме $1/1$, а также высказываемой там же некоторыми исследователями предположении о существовании зон или участков ползучести, коими мы и считаем вышеназванные слои.

На рис.2 показано поведение слоев гидратированной части цементного камня, соединенных прослойкой воды, при сдвиговом усилии. Возникновение сдвигового, а не только сжимающего, усилия объясняется изначальным расположением цементных зерен при твердении. Их хаотичное расположение в последующем и приводит при сжимающих усилиях к возникновению усилий сдвига.

Вариант а представляет собой последствия попытки смещения слоев друг относительно друга. В этом случае радиус капилляра изменяется от r до R . Площадь границы раздела фаз воздух-межслоевая вода возрастает, что неизбежно вызовет возникновение силы, стремящейся к возвращению системы в исходное положение. При снятии внешнего сдвигового усилия это и происходит.

Поведение слоев цементного камня при напряжениях сдвига.

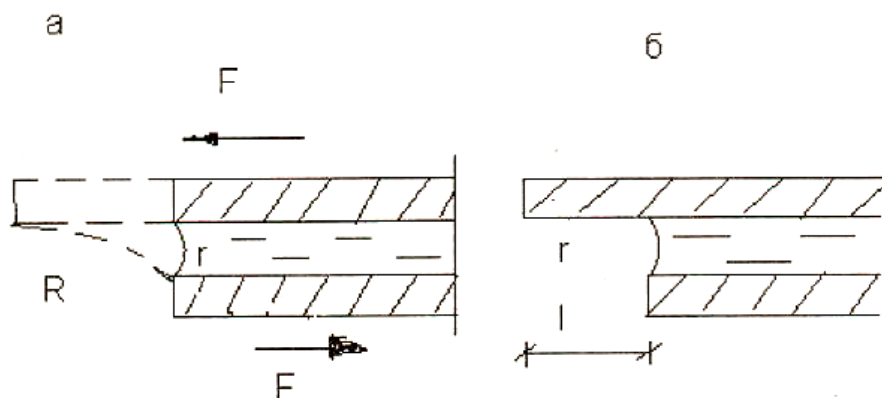


Рисунок 2

Таким образом, этот вариант модели описывает работу цементного камня в упругой зоне.

Однако все это будет происходить до тех пор, пока усилие сдвига не превысит силу взаимодействия межслоевой воды и поверхности слоя цементного камня. Как только усилие сдвига окажется выше силы смачивания, произойдет «ресмачивание», и водный мениск вернется к радиусу r , что и изображено в варианте б. Но, в отличие от предыдущего случая, после снятия внешней нагрузки система останется в положении, когда два слоя будут смещены друг относительно друга на расстояние l . Таким образом, вариант б описывает работу модели в зоне пластических деформаций, которая, собственно, и является ответственной за ползучесть.

Следует отметить, что здесь подразумевается не обычное смачивание или «ресмачивание» свободной водой любой гидрофильной поверхности, а скорее перераспределение молекул воды по новой поверхности под действием внешней силы, поскольку молекулы воды в межслоевом пространстве ориентированы относительно поверхностей скрепляемых слоев. С точки зрения усилий, требуемых на преодоление силы смачивания, не стоит уповать на тот факт, что с одной стороны слоя будет происходить «ресмачивание», а с другой смачивание, на основании чего затраты энергии с одной стороны компенсируются выделением ее с другой. Эти процессы происходят на расстоянии, вследствие чего выделяемая энергия в одном конце слоя не перейдет в другой, а будет потрачена на разогрев системы. Аналогию можно провести с ходьбой по болоту, когда, казалось бы, человек не должен был бы почти тратить энергию на передвижение, поскольку одну ногу он с усилием достает из болота, но зато другую с легкостью опускает.

Поскольку на «ресмачивание», как и на смачивание, требуется время, то поэтому и ползучесть развивается достаточно медленно. Скорость ее будет в первую очередь определяться величиной внешнего усилия, скоростью приложения нагрузки и температурой, которая, в свою очередь, будет влиять на значение поверхностного натяжения водной прослойки.

Как мы видим из рис. 2, во время проявления ползучести (вариант б) происходит увеличение площади поверхности. Усилие при этом пропорционально величине вновь образованной поверхности и скорости нагружения. Последнее связано со способностью, в зависимости от скорости нагружения, в той или иной мере релаксировать, перераспределять напряжения в цементном камне, либо концентрировать их, не успевая перераспределить. Это, на наш взгляд, является причиной разрушения одного и того же бетона при разных усилиях в зависимости от скорости нагружения.

Величина вновь образованной поверхности напрямую связана со значением свободной энергии (поверхностным натяжением) поры цементного камня. Поверхность поры состоит из образованных при гидратации кристаллов и воды, скрепляющей слои некоторых из этих кристаллов. Но свободной энергией поверхности поры, в приложении к развитию напряжений и деформаций, будет некое среднее значение их поверхностных натяжений, а/меньшее из них. Аналогично слабому звену в цепи, определяющему его общую прочность. На наш взгляд, таковым будет поверхностное натяжение межслоевой воды.

Общее увеличение (а в некоторых случаях уменьшение) поверхности поры будет состоять из суммы дискретных увеличений (уменьшений) поверхностей слоев кристаллов, рис.3.

Изменение общей поверхности поры при ползучести

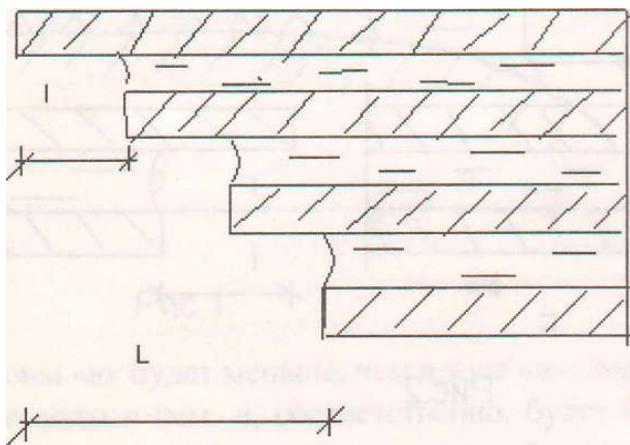


Рисунок 3

Логично предположить, что чем больше будет слоев, и чем больше будет места в поре для развития суммарных деформаций, тем больше будет развиваться ползучесть. Но зато при медленном нагружении, в случае исчерпания деформаций в одном слое, процесс будет развиваться без разрушений в следующем слое. При быстром же приложении нагрузки - трещина и разрушение.

Ползучесть при высушивании можно объяснить, рассмотрев рис.4.

Как видно из рисунка, потеря воды при высушивании в широкой части устья приводит к перемещению мениска воды в узкую часть, в результате чего резко возрастает усилие сжатия стенок А поскольку одна из стенок прямая (плоская), а другая изогнутая (либо обе изогнуты, но с различной кривизной), то появляется результирующая сила F , стремящаяся сдвинуть верхний слой относительно нижнего. Кроме ползучести, это может развивать растягивающие напряжения.

Напрашивается аналогия, что подобные причины и механизм лежат в основе усадочных явлений. Тем более, что Паррот [1] нашел линейную зависимость между усадкой и ползучестью цементного камня, проходящей при различных температурах в интервале 20...95 градусов.

Конфигурация образовавшейся после отверждения цементного камня поры определяет центры наиболее активной ползучести при повышении влажности среды (рис.5), поскольку в этих местах конденсируется влага и снижается поверхностное натяжение в слое.

Развитие ползучести при высушивании

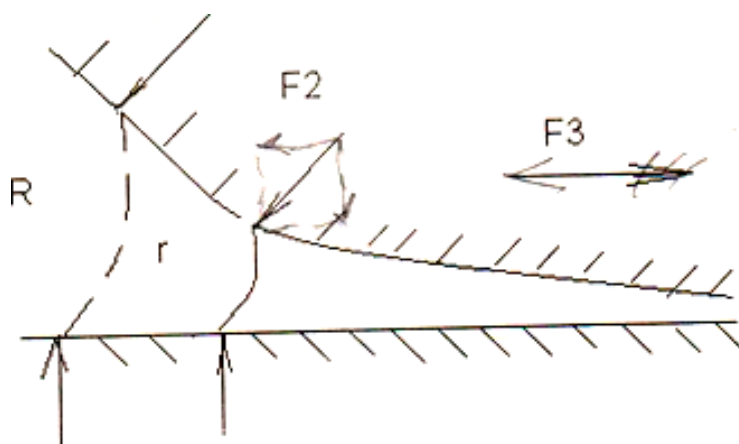
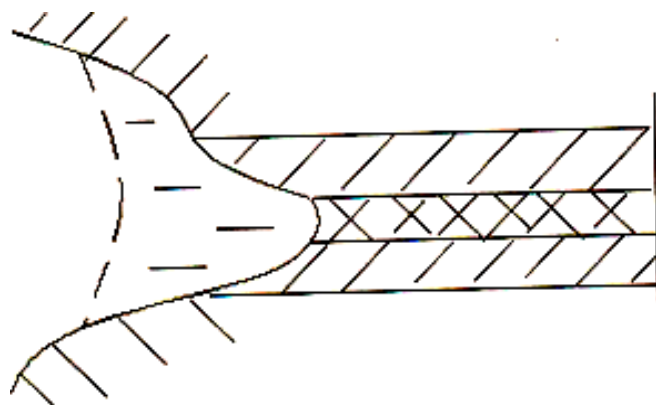


Рисунок 4

Т.к. граница раздела «межслоевая вода-воздух» заменяется на «межслоевая вода - свободная вода».

Активизация ползучести при повышении влажности среды

Рисунок 5



Список источников

1. В. Рамачандран и др. Наука о бетоне,- М., Стройиздат, 1986.

Современные подходы к решению задач управления инвестиционно- строительными процессами

ZAGADNIENIE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA DRONÓW W BUDOWNICTWIE

Adam BARYŁKA

1. WPROWADZENIE

Dron to bezzałogowy statek latający (z ang. Unmanned Aerial Vehicle - UAV), którego pilot – operator (UAVO) steruje z ziemi lub jego lot został wcześniej zaprogramowany i przez co rejs jest autonomiczny. Drony mogą dokonywać lotów:

- w zasięgu wzroku (VLOS) i
- poza zasięgiem wzroku (BVLOS).

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej **loty modeli latających lub bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w warunkach VLOS wykonuje się z zapewnieniem ciągłej i pełnej kontroli lotu**, w szczególności przez zdalne sterowanie przy użyciu fal radiowych.

Drony, z uwagi na ich możliwości, wyposażone w kamery w tym również kamery termowizyjne, umożliwiają fotografowanie (i filmowanie) różnych obiektów (w tym obiektów budowlanych), szczególnie:

- w miejscach trudno dostępnych czy
- z perspektywy, której uzyskanie w normalnych warunkach byłoby niemożliwe.

W tego powodu drony stają się bardzo atrakcyjnymi narzędziami monitorującymi, które mogą być wykorzystywane w różnych dziedzinach gospodarki narodowej, takich jak: przemysł, rolnictwo, budownictwo, transport, inżynieria, handel itp.

Dzięki możliwości przesyłania obrazu wideo w czasie rzeczywistym stanowi idealne narzędzie do monitorowania np. imprez masowych, patrolowania granic, lasów, jezior, wydział terytorialnych, dróg i autostrad, koordynacji i wsparcia akcji ratunkowych czy też dokumentowania strat po klęskach żywiołowych. Jak wynika z pracy L. Cwojdzińskiego i G. Brychczyńskiego (2014) [6] drony sprawdzają się także znakomicie w roli platform fotogrametrycznych do badania składu atmosfery, stanu upraw, rurociągow lub linii energetycznych. Ponieważ są w stanie wykonywać prace lotnicze w miejscach niedostępnych czy niebezpiecznych, stoją w niektórych przypadkach wyżej niż tradycyjne, załogowe statki powietrzne. Jak wynika z pracy T. Zielińskiego (2014) [12] ich niewątpliwą zaletą jest większa elastyczność użycia. Dzięki swoim niewielkim rozmiarom i właściwościom aerodynamicznym są dużo bardziej manewrowe niż powietrzne statki załogowe. W porównaniu z satelitami mogą być stosowane do obserwacji w dowolnym momencie dzięki możliwości przesyłania danych w czasie rzeczywistym.

Uwzględniając powyższe informacje, od kilku lat dron jest wykorzystywany w celu potrzeb wspomagania działalności kontrolnej Centrum Rzeczoznawstwa Budowlanego [3, 4]. Pozytywne doświadczenia w zakresie wykorzystania dronów w budownictwie oraz stworzenie prawnych możliwości ich stosowania w Polsce, są przesłankami przedstawienia niniejszego referatu.



Fot. 1 – Dron z zainstalowaną kamerą (zdjęcie Internet)

2. MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA DRONYW W PROCESIE BUDOWLANYM

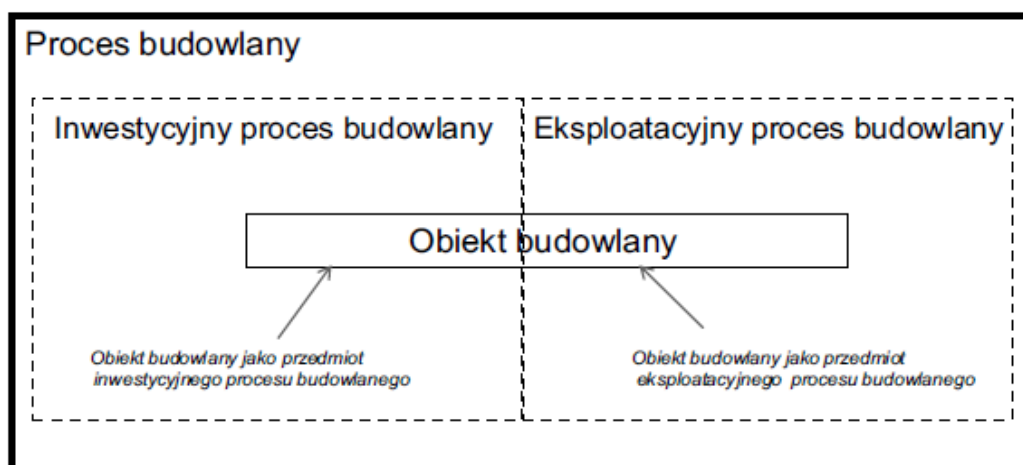
2.1. Pojęcie procesu budowlanego

Ustawa - *Prawo budowlane*, jak i inne ustawy z obszaru budownictwa nie definiują pojęcia „proces budowlany”, mimo to w języku prawniczym pod tym pojęciem rozumie się szereg powinności związanych z budową, eksploatacją (tzn. użytkowaniem i utrzymaniem) oraz rozbiórką obiektów budowlanych. W tak rozumianym procesie budowlanym można wyróżnić proces budowlany (rys. 1):

- inwestycyjny oraz
- eksploatacyjny.

Proces budowlany jest ciągiem powiązanych decyzji i ze względu na swoją specyfikę i charakter jest bardzo złożony. Jego struktura i zakres są podporządkowane przepisom prawa stanowionym przez państwo za pomocą aktów prawa (ustaw, rozporządzeń), a także wymogom lokalnych organów samorządowych, zawartych w przepisach prawa miejscowego w celu zabezpieczenia praw i interesów zarówno indywidualnych, jak i społecznych. Szczególną rolę w zakresie kształtowania procesu budowlanego mają przepisy ustawy - *Prawo budowlane* normujące:

- działania obejmujące **sprawy projektowania, budowy, utrzymania i rozbiórki** obiektów budowlanych oraz
- zasady działania organów administracji publicznej w tych dziedzinach.



Rys. 1 – Poglądowy schemat procesu budowlanego [7].

Drony mogą być wykorzystywane na wszystkich etapach procesu budowlanego (zarówno inwestycyjnego, jak i eksploatacyjnego), w zależności od potrzeb, praktycznie przez wszystkie podmioty uczestniczące w tym procesie, a także organy administracji publicznej właściwe w sprawach budownictwa (szczególnie organy nadzoru budowlanego) oraz właściwe w sprawach planowania i zagospodarowania przestrzennego (szczególnie organy gmin) [1- 4].

Nowe narzędzia w postaci dronów mogą znaleźć zastosowanie w budownictwie na etapach:

- **Przygotowania obiektów budowlanych do realizacji obejmującego, między innymi:**
 - rozpoznanie realnych warunków planowanej lokalizacji obiektu budowlanego (obejmującej inwentaryzację istniejącego zagospodarowania oraz zieleni na tym terenie) uzupełniających dokumentację geodezyjną;
 - opracowanie ortofotomozaiki do celów projektowych;
 - opracowanie mapy terenu pierwotnego;
 - sporządzenie projektu budowlanego;
- **Realizacji obiektów budowlanych obejmującej, między innymi:**
 - ciągłościową kontrolę budowy w zakresie stanu zaawansowania robót budowlanych;
 - kontrolę robót zanikających;
 - inwentaryzację placu budowy;
 - inwentaryzację stanu robót budowlanych w przypadku wystąpienia katastrofy budowlanej podczas realizacji obiektu budowlanego;

- dokumentowanie postępu budowy - możliwość ukazania przedmiotu inwestycji - budowli, obiektów inżynierskich z tej samej wysokości, w tym samym miejscu, z tego samego punktu w określonych odstępach (np. co tydzień, miesiąc);
- monitoring inwestycji drogowych i kolejowych;
- inwentaryzacja stanu nawierzchni drogi;
- wizualizacje 3D pasa drogowego i otoczenia;
- monitorowanie robót ziemnych (obliczenia kubaturowe);
- inwentaryzacja powłok powierzchni terenu inwestycji.

• **Eksploracja obiektów budowlanych obejmującej, między innymi:**

- zewnętrzne przeglądy techniczne obiektów;
- okresowe kontrole obiektów;
- inwentaryzacja obiektów budowlanych;
- zapis rozbiórki obiektów budowlanych wykonywanych z użyciem materiałów wybuchowych;
- inwentaryzacja stanu zniszczenia obiektów budowlanych po zaistnieniu
- katastrofy budowlanej w czasie ich eksploatacji.

Ponadto drony mogą być wykorzystywane, między innymi w przypadkach:

- wizualizacji terenów zainwestowanych (np. osiedla, zakładu przemysłowego, terenu rekreacyjnego, zespołu zabytkowego, itp.);
- monitoringu obiektów miejskich w przypadku imprez masowych;
- kontroli obiektów użytku publicznego;
- kontroli drogi i drogowych obiektów inżynierskich w sytuacji występowania problemów z bezpieczeństwem ruchu pojazdów samochodowych;
- monitorowania stanu powodzi na określonym terenie;
- kontrolowania nielegalnej działalności inwestycyjnej na określonym terenie, tzn. dokonujących się i dokonanych samowoli budowlanych (np. Urząd Morski w Słupsku planuje wykorzystanie drona do monitorowania stanu linii brzegowej Polski, plaży oraz nowych inwestycji budowlanych blisko brzegu w okolicach Jeby, Ustki oraz Rowy);
- monitorowanie i ochrona lasów oraz monitorowanie pożarów lasów;
- prezentacji wizualnej nieruchomości oferowanych do sprzedaży (w zakresie jej położenia, okolicznej roślinności, zabudowy i dróg dojazdowych);
- prezentacji wizualnej rozwiązań projektowych zgłaszanych do wyboru w trybie zamówień publicznych;
- monitorowania z powietrza różnych obiektów budowlanych, takich jak: linie wysokiego napięcia, rurociągi, turbiny wiatrowe, panele słoneczne, trakcje kolejowe.

Do interesujących projektów wykorzystania dronów można zaliczyć:

- Monitorowanie sieci kanalizacyjnej w Barcelonie w zakresie pomiarów jakości powietrza oraz wody w rozbudowanej sieci kanałów pod miastem, której łączna długość – fot. 8. (<http://www.swiatdronow.pl/drony-do-inspekcji-kanalizacji-za-2-lata-w-barcelonie>);
- Szybkie określenie zakresu i intensywności zanieczyszczenia terenu materiałami radioaktywnymi;
- Analizy gazów wydobywających się z kominów budynków pod kątem spalania w domowych piecach niebezpiecznych dla środowiska substancji.

Drony w budownictwie mogą być wykorzystane, w szczególności, do wspomaganie okresowych kontroli obiektów budowlanych, do których może być utrudniony dostęp w związku z:

- dużą wysokością obiektu (np. budynki wysokościowe, wieże, maszty,
- kominów, elektrownie wiatrowe, linie wysokiego napięcia, itp.),
- koniecznością kontroli stanu technicznego części zewnętrznych
- obiektów budowlanych (np. powierzchni zewnętrznych przegród
- budowlanych oraz dachów), między innymi takich jak: budynki wysokie i wysokościowe;
- koniecznością kontroli stanu technicznego urządzeń, w tym antenowych

- konstrukcji wsporczych i instalacji radiokomunikacyjnych zainstalowanych na obiektach budowlanych;
- dużej powierzchni dachów obiektów wielkopowierzchniowych oraz systemów odprowadzania wody z tych dachów;
- konieczności budowy specjalnych rusztowań umożliwiających dostęp do obiektu, np. mosty, wiadukty, estakady, itp.,
- rozległości obiektu budowlanego (obiekty liniowe, takie jak: wały
- przeciwprądowe, drogi, itp.).
- Jak wynika z pracy Marii Szruby (2017) [12] skala możliwości związanych z użyciem drona sprawia, że może on stanowić niezwykle pomocne narzędzie szczególnie w branży budowlanej:
- Wśród jego potencjalnych zastosowań w tym sektorze można wymienić np. audyt inwestycji. Przy użyciu bezzałogowego systemu powietrznego można uzyskać widok z góry elementów trudno dostępnych, takich jak np. dach, bez konieczności montowania rusztowań czy wykorzystania drabin.
- W tym wypadku użycie drona wpłynie na wzrost bezpieczeństwa na budowie oraz oszczędność czasu i pieniędzy.
- W ekspertyzach budowlanych drony mogą znaleźć zastosowanie do przeprowadzania badań obszarów niebezpiecznych, groźnych zawaleniem. Niezwykle przydatne będzie ich zastosowanie do monitorowania procesu budowy. Umożliwi podgląd na żywo działań podejmowanych na budowie, w tym na bieżąco śledzić pracę maszyn, przyczyni się do optymalizacji pracy i podnoszenia bezpieczeństwa.
- Dzięki zastosowaniu dronów łatwiejsze stanie się również zarządzanie inwestycjami czy prace konserwacyjne, zwłaszcza obiektów o dużej wysokości, takich jak mosty, wieże, dachy budynków. Ułatwi znacznie również monitorowanie i nadzór nad obiektami, np. mostami czy sieciami trakcyjnymi.

3. KORZYŚCI ZWIĄZANE ZE STOSOWANIEM DRONÓW W BUDOWNICTWIE

Tradycyjnie dokonywane kontrole części zewnętrznych obiektów budowlanych, takich jak: dachy, systemy odwodnienia oraz zewnętrzne powierzchnie przegrody budowlanych - szczególnie w przypadku obiektów wielkopowierzchniowych i obiektów wysokich są:

- **niebezpieczne** w związku z koniecznością wykonywania większych prac na otwartej przestrzeni oraz wysokości czyli w trudno dostępnych i bardzo często niebezpiecznych dla człowieka miejscach np. dachy budynków, kominy i mosty;
- **kosztowne** w związku z koniecznością budowy rusztowań lub wyrośnięcia jakiegoś sprzętu umożliwiającego dotarcie osób dokonujących kontroli do niewłaściwych miejsc kontrolowanego obiektu budowlanego;
- **czasochłonne** w związku z koniecznością poprzedzenia tych prac dokonaniem nawet kilkutygodniowych ustaleń, zdobywania odpowiednich pozwoleń na ich realizację, powiadomienia właściwych organów o fakcie ich przeprowadzania, a także odpowiedniego zabezpieczenia budynku i terenu wokół niego poprzez utworzenie strefy ochronnej;

- **niebezpieczne dla użytkowników obiektu budowlanego.**

Zastosowanie dronów, z uwagi na ich wysoką mobilność, pozwala na:

- Szybkie pozyskanie materiału fotograficznego i filmowego wysokiej jakości;
- Relatywnie niski koszt w stosunku do kosztu najmu samolotu lub śmigłowca;
- Możliwość rejestracji zdjęć i filmów w miejscach niebezpiecznych i trudno dostępnych;
- Możliwość lotu na małej wysokości, poniżej podstawy chmur;
- Skrócenie czasu przeprowadzania kontroli oraz eliminowanie konieczności uzyskiwania stosownych uprawnień, długotrwałego przygotowywania czy wstrzymywania ruchu drogowego wokół obiektów;
- Dokumentowanie (na podstawie filmu i zdjęć) stanu technicznego elementów obiektu budowlanego narażonych na oddziaływanie czynników atmosferycznych (np. w przypadku dachu obiektu jego najbardziej narażonych na zniszczenie elementów, m.in.: dachówek, iściec

poszczególnych części pokrycia, pości z wystającymi fragmentami, obrybek przy kominach, nieogoiaryw czy uszczelniec dekarских). Na podstawie wykonanych zdjęć i filmów można uzyskać duże zbliżenia, umożliwiające dokumentowanie szczegółów stanu technicznego obiektu;

- Zlokalizowanie nawet drobnych uszkodzeń rynien i rur spustowych, które mogą przyczyniać się do nieprawidłowego funkcjonowania całego systemu odprowadzania wody;

- Sprawdzenie, czy w niewłaściwych miejscach obiektu budowlanego nie nagromadzi się zanieczyszczenia ograniczające przepustowość oraz czy nie doszło do usterek na łączeniach poszczególnych elementów systemu, które mogą spowodować ich przeciekanie;

- Monitorowanie wielkoobszarowych gospodarstw rolnych;

- Monitorowanie zmian pokrycia terenu;

- Lokalizację drenaży;

- Monitorowanie dzikich wysypisk śmieci, dzikich wyrobisk, itp.;

- Kontrole i monitoring konstrukcji wspornych i sieci wysokiego napięcia z użyciem kamer termowizyjnych.

Poniżej podano kilka przykładów sytuacji, kiedy użycie drona jest najlepszym i zarazem najtańszym rozwiązaniem. Można do nich zaliczyć:

- możliwość obserwacji terenu oraz jego rejestrowanie przez długi okres, z dużej odległości;

- inwentaryzację dużych powierzchni wewnątrz i zewnątrz takich jak hale, magazyny silosy;

- sprawdzanie stanu technicznego miejsc trudno dostępnych, dachy, kominy, otwarte przestrzenie;

- kontrola oraz monitoring terenów zielonych;

- uzyskanie niezbędnych informacji o stanie technicznym obiektów budowlanych w związku z opracowywaniem ekspertyz budowlanych.

Przykłady innych zastosowań dronów:

- Zastosowania dla celów wojskowych;

- Pomoc w ustaleniu skądowania przedmiotów skradzionych (sprzęt rolniczy, samochody osobowe, samochody ciężarowe, sprzęt budowlany itp.);

- Wykonywanie dokumentacji fotograficznej i wideo zniszczeń pól rolnych, w przypadku konieczności wyjaśnienia kwestii spornych z firmami ubezpieczeniowymi;

- Monitoring pracowników na parkingach, działających na szkodę pracodawcy (firmy przewozowe, paliwowe) i wiele innych;

- Użycie wysokiej jakości kamer i aparatów fotograficznych zamontowanych na dronie jest najlepszym a nie jednokrotnie jedynym sposobem aby zdobyć materiały dowodowe - w miejscach, w których dostęp jest utrudniony i wymaga użycia specjalistycznego sprzętu (drugi, podnośniki, sprzęt alpinistyczny) lub całkowicie niemożliwy;

- Jako materiały dokumentujące stan nieruchomości (obiektów lub ich części) oferowanych do sprzedaży;

- Zastosowanie zdjęć i filmów wykorzystywanych w celach reklamowych.

Wykorzystanie dronów do pomiarów termowizyjnych.

Drony z zainstalowanymi kamerami termowizyjnymi umożliwiają wykonanie pomiarów termowizyjnych:

- w ramach kontroli farm fotowoltaicznych, zainstalowanych kolektorów sionecznych;

- dla oceny jakości wykonanych prac termomodernizacyjnych w budynku,

- wykrycia występowania:

- miejscowych nieuszczelnień (wynikających z niedokładności wykonania lub rozszczelnienia obiektu (spowodowanego wiekiem obiektu) lub

- zawilgoce

w miejscach, do których dostęp jest bardzo utrudniony lub niemożliwy ze względu na duże wysokości i niedostępność do poszczególnych elementów obiektu budowlanego.

Pomiary termowizyjne umożliwiają uzyskanie dokładnych informacji o temperaturze w poszczególnych miejscach badanego obiektu, takich jak np.: na styku okna z murem, oraz o rozkładzie

temperatury na określonej powierzchni. Widoczne na obrazach w podczerwieni ewentualne ryńice temperatur mogŃ zobrazowaŃ tzw. mostki termiczne, czyli miejsca o zwiłkszym przenikaniu ciepia z wnŃtra obiektu budowlanego, miejscowŃ nieuszczelnoŃ lub zawilgocenie. WiŃciwie wykorzystywane kamery termowizyjne pozwalajŃ na szybkiŃ i pewniŃ kontrolŃ iloŃci traconego ciepia w budynku na skutek nieuszczelnoŃci i usterek. Metoda ta nie tylko jest najdokladniejsza, ale i bardzo ekonomiczna. Regularnie prowadzone kontrole pozwalajŃ na oszczŃdnoŃci znacznych Ńrodkow oraz odpowiednio wczesniŃ likwidacjk wystŃpujŃcych usterek.

Zastosowanie drona do kontroli waiyw przeciwpowodziowych

OŃrodek Technicznej Kontroli Zapyr Instytutu Meteorologii i Gospodarki i Wodnej zakupił bezzaiogowy system pomiarowy z przeznaczeniem do kontroli waiyw przeciwpowodziowych (fot. 1), ktory:

- Skiaa siŃ z wielowirnikowca ZAWISAK wyposaŃonego w: zestaw sensoryw, skaner laserowy Yellowscan, aparat cyfrowy i kamerk video.

- WyposaŃony zostai w system GNSS z moŃliwoŃciŃ uwzglŃdniania poprawek z sieci ASG-EUPOS oraz system kontroli i przekazu wizji w czasie rzeczywistym. Zestaw zostai praktycznie przetestowany (dane pozyskano skanerem oraz aparatem dla odcinka waiu przeciwpowodziowego), a wyniki przyb ocenione zostaiy pozytywnie przez Wydziai Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

- System w wyniku wygranego przetargu dostarczyia firma MSP. Ma on siuŃyŃ m.in. pozyskiwaniu danych z lotniczego skaningu laserowego w celu wygenerowania dokumentacji 3D waiyw przeciwpowodziowych, tworzeniu numerycznych modeli wysokoŃciowych i ortofotomapy.

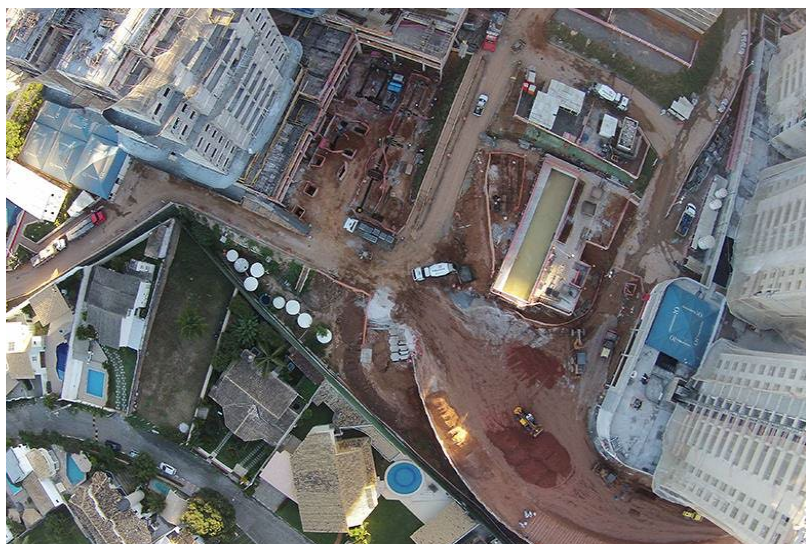


Fot. 2 – Dron „Zawisak” wykorzystywany przez OŃrodek Technicznej Kontroli Zapyr Instytutu Meteorologii i Gospodarki i Wodnej do kontroli waiyw przeciwpowodziowych [15].

4. PRZYKJADY ZASTOSOWANIA DRONYW W BUDOWNICTWIE

Dla ilustracji zastosowania dronyw w budownictwie przedstawiono nw. przykiady wykorzystujŃce Ńrydia Internetowe:

- Monitorowanie procesu budowy - Fot. 3-5;
- Monitorowanie linii wysokiego napiŃcia – Fot. 5;
- Monitorowanie sieci trakcyjnej – Fot 6;
- Monitorowanie linii kolejowej – Fot. 7;
- Projekt monitorowania sieci kanaiyw w Barcelonie – Fot. 8.



Fot. 3 – Monitorowanie procesu budowy
(Źródło: <http://www.equipmentworld.com/drones>).



Fot. 4 – Monitorowanie terenu budowy
(Źródło: <http://www.dronexvision.pl/uslugi-oferta/fotografowanie-filmowanie-z-powietrza/zdjecia-filmy-z-drona/architektura-budownictwo-zdjecia-nieruchomosci>).



Fot. 5 – Monitorowanie terenu budowy
(Źródło: <http://dronelogic.pl>).



Fot. 6 – Monitorowanie linii wysokiego napięcia
(urydio: www.swiatdronow.pl/zastosowania-dronow/monitoring/page/2).



Fot. 7 – Monitorowanie sieci trakcyjnej (urydio: http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,narzedzia_i_maszyzny,artykul,zastosowanie_termowizji_z_wykorzystaniem_dronow_w_budownictwie).



Fot. 8 – Monitorowanie linii kolejowej
(urydio: <http://www.swiatdronow.pl/zastosowania-dronow/monitoring>).



Fot. 9 – Projekt monitorowania sieci kanaiyw w Barcelonie
(urydio: <http://www.greentechbarcelona.com/es/proyectos-destacados/proyecto/43>).



Fot. 10 – Kontrola turbiny wiatrowej
(urydio: <http://skyinn.pl/obszary-zastosowan/>).



Fot. 11 – Kontrola stanu technicznego komina w zakładzie przemysłowym
(urydio: <http://udrzapodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/bezpilotni-letadla-pri-sprave-budov-a-prumyslovych-arealu/>).

5. ZAGADNIENIE UPRAWNIENIEC DO STEROWANIA DRONEM

Bezpieczne wykorzystanie dronów jest podstawowym warunkiem ich funkcjonowania w przestrzeni powietrznej. Z tego powodu wykonywanie lotów komercyjnych związanych z monitoringiem, pomiarami, fotografowaniem, wideofilmowaniem z powietrza – w Polsce - może być prowadzone tylko przez wykwalifikowanego operatora UAVO, który:

- uzyskał państwowe świadectwo kwalifikacji (licencję UAVO wydaną przez Urząd Lotnictwa Cywilnego uprawniającą do wykonywania lotów komercyjnych) oraz
- posiada ubezpieczenie OC dla operatorów bezzałogowych statków powietrznych.

Koszt zakupu drona oraz ww. ograniczenia dotyczące ich stosowania sprawiają, że na rynku są firmy wynajmujące drony do wykonania określonych zadań (np. można skierować zapytanie na adres biuro@media-one.pl podając informacje dotyczące: miejsca gdzie miałyby odbyć się loty, wielkości obiektu stanowiącego przedmiot kontroli i terminu wykonania lotu).



Fot.12 – Monitorowanie budowy obwodnicy miasta Ostrydy – droga krajowa 16 i S7 (Generalny wykonawca firma Budimex) – Autor: SkySnap (*urydio: drony w budownictwie.pl*).

6. DZIAŁALNOŚĆ EDUKACYJNA W ZAKRESIE BEZPIECZNEGO STOSOWANIA DRONÓW

Ogromne zainteresowanie stosowaniem dronów w gospodarce sprawia, że organizowane są liczne szkolenia poświęcone uwarunkowaniom techniczno-prawnym stosowania dronów w Polsce. Warto wspomnieć o zorganizowanych w 2016 r. dwóch bardzo ważnych ww. szkoleniach:

1) 25.01.2016 r. w Ministerstwie Infrastruktury i Budownictwa odbyła się konferencja nt. **"Bezpieczne wykorzystywanie dronów w cywilnej przestrzeni powietrznej i przeciwdziałanie zagrożeniom z nimi związanym"**.

W trakcie konferencji **poruszono przede wszystkim zagadnienia dotyczące:**

- **istniejących zagrożeń** związanych z nieodpowiedzialnym wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych w cywilnej przestrzeni powietrznej, a także
- **potencjalnych sposobów przeciwdziałania tym zagrożeniom** (przedstawiono propozycje systemów zwiększających bezpieczeństwo wykorzystania dronów w przestrzeni powietrznej opracowane przez firmy dysponujące określonymi rozwiązaniami technologicznymi, umożliwiającymi m.in. śledzenie oraz nadzór nad operacjami z użyciem dronów).

W ww. konferencji wzięli udział przedstawiciele niemal wszystkich organów i instytucji administracji rządowej zainteresowanych tematyką bezzałogowych statków powietrznych oraz ich bezpiecznym wykorzystaniem. W spotkaniu uczestniczyli eksperci m.in. z Urzędu Lotnictwa Cywilnego, Polskiej Agencji Ęglugi Powietrznej, Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego, Dowództwa Operacyjnego Rodzajów Sił Zbrojnych, Dowództwa Generalnego Rodzajów Sił Zbrojnych, Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, przedstawiciele Komendy Główniej Policji, Straży Granicznej, a także reprezentacja Ęrodowiska naukowego oraz firm z branży lotniczej. W konferencji wzięli również udział prezes Polskiej Agencji Ęglugi Powietrznej.

2) W dniu 11.03.2016 r. **Urząd Lotnictwa Cywilnego zorganizował Seminarium** poświęcone omówieniu zagadnień związanych z planowanymi zmianami w przepisach w obszarze lotnictwa bezzałogowego. Seminarium dedykowane było wszystkim osobom zainteresowanym problematyką wykonywania lotów UAV oraz szkoleniami, egzaminowaniem i licencjonowaniem operatorów bezzałogowych statków powietrznych. W seminarium odbywającym się w Warszawie wzięli udział kilkuset przedstawicieli firm lotniczych zajmujących się bezzałogowymi statkami powietrznymi, posiadaczy świadectw kwalifikacji operatora bezzałogowych statków powietrznych oraz osoby zainteresowane kwestiami przepisów w zakresie bezzałogowego lotnictwa. Podczas seminarium:

- Przedstawiono aktualne zasady wykonywania lotów na podstawie ustawy prawo lotnicze oraz rozporządzeń wykonawczych.
- Podkreślono, że ocena zasięgu wzroku zależy od wielu czynników – pogody, umiejętności operatora i używanego sprzętu.
- Podkreślono, że to na operatorze ciąży konieczność zapewnienia bezpieczeństwa – nie tylko w przestrzeni powietrznej, ale również bezpieczeństwa osób i mienia na ziemi.
- Zaprezentowano przykładowe filmy obrazujące kolizje samolotu żałogowego z ptakami, w celu zobrazowania jakiego może być efekt zderzenia takiego samolotu z dronem.
- Podkreślono, że nowoczesne bezzałogowe statki powietrzne mogą generować nowe zagrożenia (nawet tańsze urządzenia mogą latać wysoko i poza zasięgiem wzroku operatora).
- Przedstawiono sposoby uzyskiwania uprawnień do lotów w zasięgu wzroku (VLOS) i poza zasięgiem wzroku (BVLOS).
- Poinformowano o publikacji programów szkolenia i biuletynu na stronie internetowej ULC.

W Polsce rejestruje się dynamiczny rozwój lotnictwa bezzałogowego w celach komercyjnych. Działają tu kilkadziesiąt firm, posługujących się komercyjnie dronami, większą z nich świadczą usługi. Są to zwykle niewielkie przedsiębiorstwa, oferujące loty fotograficzne i fotogrametryczne w zasięgu wzroku operatora, jednostki badawcze i naukowe, zajmujące się projektowaniem i produkcją dronów oraz ich wyposażeniem.

Firmy usługowe najczęściej korzystają z maszyn o niewielkich rozmiarach i wadze od 3 do 15 kg. Najczęściej używane są wielowirnikowe stabilne platformy pionowego startu z udźwigniem, wystarczającym do przenoszenia profesjonalnego sprzętu.

7. PODSUMOWANIE

- Z przedstawionych informacji wynika, że drony w budownictwie mogą znaleźć szerokie zastosowanie we wszystkich etapach procesu budowlanego.
- Drony mogą być szczególnie przydatne jako narzędzia wspomagające dokonywanie kontroli obiektów budowlanych, w tym okresowych kontroli wymaganych przepisami ustawy – *Prawo budowlane*.
- Drony można traktować jako narzędzia wspomagające inżynierów bezpieczeństwa obiektów budowlanych.
- Drony mogą także przeprowadzać skanowanie laserowe, uzupełniając model BIM w informacje. W budownictwie mieszkaniowym innowacyjnym sposobem pomiarów kamerami termowizyjnymi są pomiary z wykorzystaniem dronów.
- Wyposażone w kamery termowizyjne umożliwiają identyfikację punktów utraty ciepła w budynkach. W geotechnice posłużą do badania struktury gruntu.
- Jedną z barier rozwoju nowych i powszechnych zastosowań bezzałogowych systemów powietrznych jest stosunek społeczeństwa do dronów. Kontrowersje wzbudza zwłaszcza wykorzystywanie ich do prowadzenia obserwacji. Niemniej edukacja w tym zakresie, ale także właściwe użytkowanie dronów mają szansę poprawić ich notowania. Szczególnie, że zastosowanie dronów w obszarze cywilnym, o czym wcześniej wspomniano, niesie ze sobą wiele korzyści.
- Użycie bezzałogowych statków latających w szybkim tempie poszerza swój zakres zastosowań. Z tego powodu środowiska akademickie dostrzegają wagę zastosowania dronów w różnych dziedzinach gospodarki. Jako pozytywny przykład można podać, że wychodząc naprzeciw najnowocześniejszym trendom, pracownicy AGH w Krakowie opracowali innowacyjny program

studiów podyplomowych – Zastosowania bezzałogowych statków latających (BSL) w rozwijaniu zagadnień inżynierskich. Organizatorem studiów jest Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Hrodowiska, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa AGH. Celem ww. studiów jest przede wszystkim zbadanie zagadnień prawnych dotyczących użycia dronów w polskiej przestrzeni powietrznej, jak i nabycie umiejętności kompleksowej obsługi BSL wraz z pozyskiwaniem i opracowaniem uzyskanych danych. Z pewnością wiedza na ten temat pozwoli absolwentom na znajdowanie coraz to nowych obszarów zastosowań dla bezzałogowych statków powietrznych nie tylko w dziedzinie budownictwa.

Bibliografia

1. A. Baryka, *O możliwości wykorzystania dronów w budownictwie*. Referat na Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ekomilitaris 2017”, Zakopane 2017.
2. A. Baryka, *Zagadnienie możliwości wykorzystania dronów w budownictwie*, Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych, nr 1, 2017.
3. A. Baryka, *Okresowe kontrole obiektów budowlanych w procesie ich eksploatacji*. Wyd. 2, CRB, Warszawa, 2018.
4. A. Baryka, *Poradnik rzeczoznawcy budowlanego. Cz. 1, Problemy techniczno-prawne diagnostyki obiektów budowlanych*, CRB, Warszawa, 2018.
5. A. Baryka, J. Baryka, *Eksploatacja obiektów budowlanych. Poradnik dla właścicieli i zarządców nieruchomości*. CRB, Warszawa, 2016.
6. R. Czuchra, *Wykorzystanie bezpilotowych statków latających (UAV) dla potrzeb bezpieczeństwa państwa*. „Kultura Bezpieczeństwa. Nauka – praktyka – refleksje” nr 15, 2014.
7. L. Cwojdzicki, G. Brychczyński, *Bezzałogowe statki i platformy latające. Terazniejszość i przyszłość*. 05.10.2018 (online). <http://dlapilota.pl/wiadomosci/grzegorz-brychczynski/bezbalogowe-statki-i-platformy-latajace-terazniejszosc-i-przyszlosc>.
8. S. Janczura, *Dron na budowie* (online). Dostępny w Internecie: <https://bimv.pl/dron-na-budowie/> (dostęp 22 grudnia 2016).
9. M. Piuć, *Dronem w niskiej emisji?* www.kronika.beskidzka.pl.
10. W. Roszak, *Drony przydatne w budownictwie*. Materiały Budowlane nr 02, 2016.
11. D. Skorupka, *Wykorzystanie bezzałogowych systemów latających w inżynierii przedsięwzięć budowlanych*. Nowe technologie w inżynierii przedsięwzięć budowlanych. http://sipb.sggw.pl/Dokumenty/PAN%2008%2012%202014_Skorupka.pdf.
12. M. Szruba, *Przyszłość dronów w budownictwie*. Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie. Styczeń-luty, 2017.
13. Zielicki T.: *Funkcjonowanie bezzałogowych systemów powietrznych w sferze cywilnej*. Poznań 2014.
14. Czego czy nie widzę, zobaczy dron, <http://log4-bm.pl/czego-oczy-nie-widza--zobaczy-dron,35,211.htm>
15. *Nowy dron IMGW pomoże kontrolować wiaty przeciwpowodziowe*, <http://gisplay.pl/gis/5809-imgw-ma-nowego-bezbalogowca.html>.
16. Firma Drony Sp. z o.o. oferuje usługi w oparciu o wykorzystanie Bezzałogowych Statków Powietrznych. <http://www.centrum-drony.pl/uslugi>.
17. www.greentechbarcelona.com/es/proyectos-destacados/proyecto/43.
18. www.swiatdronow.pl/zastosowania-dronow/monitoring.
19. www.inzynierbudownictwa.pl/technika,narzedzia_i_maszyzny,artykul,zastosowanie_termow_izji_z_wykorzystaniem_dronow_w_budownictwie.
20. www.swiatdronow.pl/zastosowania-dronow/monitoring/page/2.
21. www.dronexvision.pl/uslugi-oferta/fotografowanie-filmowanie-z-powietrza/zdjecia-filmy-z-drona/architektura-budownictwo-zdjecia-nieruchomosci.
22. www.equipmentworld.com/drones.
23. www.swiatdronow.pl/drony-do-inspekcji-kanalizacji-za-2-lata-w-barcelonie.
24. <http://skyinn.pl/obszary-zastosowan>.
25. <http://udrbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/bezpilotni-letadla-pri-sprave-budov-a-prumyslovych-arealu>.
26. <http://dronelogic.pl>

WYBRANE ZAGADNIENIA TECHNICZNO-PRAWNE WBUDOWYWANIA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH Z ROZBIÓRKI W NOWE OBIEKTY BUDOWLANE

Leopold Kruszka, Lidia Elżbieta Więclaw-Bator

Wstęp. Budownictwo jest odpowiedzialne w znacznym stopniu za zużycie surowców naturalnych i energii oraz emisję szkodliwych gazów do atmosfery. Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylająco dyrektywę Rady 89/106/EEG [1], obiekty budowlane powinny być zaprojektowane, wykonane i rozebrane w taki sposób, aby wykorzystanie zasobów naturalnych było zrywnoważone i zapewniało w szczególności ponowne wykorzystanie lub recykling obiektów budowlanych oraz wchodzących w ich skład materiałów i części po rozbiórce. Wytwarca odpadów² budowlanych staje się ich posiadaczem, posiadającym szereg zobowiązań prawnych, w tym do gospodarowania odpadami i ponoszenia kosztów z tym związanych.

Logistyka odzysku i wykorzystania odpadów budowlanych powinna być zgodna z:

– przepisami ustawy z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [2], która określa środki służące ochronie środowiska, życia i zdrowia ludzi zapobiegające i zmniejszające negatywny wpływ na środowisko oraz zdrowie ludzi wynikające z wytwarzania odpadów i gospodarowania nimi oraz ograniczające ogólne skutki użytkowania zasobów i poprawiające efektywność takiego użytkowania;

– przepisami ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – *Prawo ochrony środowiska* [3], która określa zasady ochrony środowiska oraz warunki korzystania z jego zasobów, z uwzględnieniem wymagań zrównoważonego rozwoju,

– przepisami ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – *Prawo budowlane* [4], która normuje działalność obejmującą sprawę projektowania, budowy, utrzymania i rozbiórki obiektów budowlanych oraz określa zasady działania organów administracji publicznej w tych działaniach,

– przepisami ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych [5], która określa m.in. zasady wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych, zasady kontroli wyrobów budowlanych wprowadzonych do obrotu lub udostępniania na rynku,

– zasadami sztuki budowlanej i normami technicznymi.

W artykule omówiono problematykę odzysku wyrobów budowlanych oraz surowców z odpadów budowlanych, a także problemy z tym związane. Zidentyfikowano wady i zalety wykorzystania odpadów budowlanych do wytworzenia nowych wyrobów budowlanych. Badana problematyka jest istotna m.in. z uwagi na poniższe uwarunkowania:

– znaczny udział kosztów wyrobów budowlanych w cenie robót budowlanych (*Tabela 1*) oraz wysokie koszty składowania odpadów budowlanych [6],

– krótkie okresy eksploatacji obiektów budowlanych, w szczególności prawilonyw wystawienniczych, realizowanych w formule „projektuj, zbuduj, utrzymaj, rozbierz” [7], [8], a także tymczasowych obiektów budowlanych przeznaczonych do czasowego użytkowania w okresie krótszym od jego trwałości technicznej, przewidzianych do przeniesienia w inne miejsce lub do rozbiórki,

– liczne oferty na portalach internetowych wyrobów budowlanych z rozbiórek (ryżne rodzaje cegieł, dachówek, kostek brukowych, profili stalowych, blach, okien i drzwi, bram wjazdowych, parapetów, płyt żelbetonowych, paneli, parkietów, instalacji i osprzętu instalacyjnego itd),

– trudności w wycenie odpadów – materiałów budowlanych uzyskanych z rozbiórek biorąc pod uwagę zarówno wymogi art. 3 ust. 1 pkt 9 ww. ustawy o odpadach, gdzie przez pojęcie odzysku rozumie się wszelkie działania, niestwarzające zagrożeń dla życia, zdrowia ludzi lub dla środowiska, polegające na wykorzystaniu odpadów w całości lub w części, lub prowadzące do odzyskania z odpadów substancji, materiałów lub energii i ich wykorzystania, określone w załączniku nr 5 do tej ustawy, jak i art. 2 pkt 6 ustawy o podatku od towarów i usług, gdzie odpady powstające z budowlanych robót rozbiórkowych mają dla inwestora określony wartość konsumpcyjną i stanowią towar w rozumieniu tego przepisu prawnego,

²Zgodnie z art. 3 ust. 1 pkt 6 ustawy o odpadach, przed odpadem należy rozumieć każdą substancję lub przedmiot, którego posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do którego pozbycia się jest zobowiązany.

– recykling, który według ustawodawcy oznacza taki odzysk, który polega na powtornym przetwarzaniu materiałów zawartych w odpadach w budowlanym procesie produkcyjnym w celu uzyskania substancji lub materiału o przeznaczeniu pierwotnym lub o innym przeznaczeniu,

– wykorzystywanie materiałów budowlanych z rozbiórki/demontażu do odbudowy obiektów budowlanych, przez którą rozumie się „[...] wykonywanie faktycznie nowego obiektu budowlanego, choć z wykorzystaniem elementów konstrukcyjnych pozostałych po innym obiekcie budowlanym, który uległ zniszczeniu” – wyrok WSA w Lublinie z dnia 13 marca 2012 r., II SA/Lu 971/11 (zob. również wyrok WSA w Kielcach z dnia 13 marca 2014 r., II SA/Ke 970/13; wyrok WSA w Opolu z dnia 28 stycznia 2016 r., II SA/Op 484/15; wyrok WSA w Kielcach z dnia 13 marca 2014 r., II SA/Ke 970/13)³.

Tabela 1 – Udziały procentowe cen czynników produkcji budowlanej w cenie budowy obiektu budowlanego wg SEKOCENBUD.

| Przykładowe obiekty | Udziały cen czynników produkcji budowlanej w cenie budowy obiektu [%] | | | | |
|--|---|--------|--------|------------------|------|
| | Robocizna | Wyroby | Sprzkt | Koszty pośrednie | Zysk |
| Obiekt 1122-204 (1112) budynek mieszkalny wielorodzinny 4-kondygnacyjny z garażem podziemnym | 20,9 | 54,2 | 4,2 | 16,3 | 4,4 |
| Obiekt 1220-101 (1751) budynek administracyjno-biurowy 6-kondygnacyjny podpiwniczony | 19,6 | 53,3 | 6,0 | 16,6 | 4,5 |
| Obiekt 1263-103 (1342) szkoła podstawowa z przedszkolem dla 240 + 40 dzieci | 21,2 | 56,3 | 2,7 | 15,6 | 4,2 |
| Obiekt 1263-104 (1371) przedszkole 2 – oddziałowe | 21,6 | 55,3 | 2,9 | 15,9 | 4,3 |
| Obiekt 1264-302 (1532) przedszkole rejonowe 2 kondygnacje + piwnice | 21,2 | 56,8 | 2,5 | 15,4 | 4,1 |
| Obiekt 1265-102 (1613) szkolna hala sportowa o konstrukcji murytano-ielbetowej | 15,9 | 63,6 | 4,0 | 13,0 | 3,5 |
| Obiekt 1265-301 (1615) hala sportowo-widowiskowa z lodowiskiem dla 2 890 widzów | 15,5 | 64,3 | 4,1 | 12,7 | 3,4 |
| Obiekt 2111-121 (5223) autostrada „A” dwujezdniowa | 7,3 | 40,4 | 25,7 | 21,0 | 5,6 |
| Obiekt 2112-111 (5321) ulica w kierunku drogi gijwnej „G” jednojezdniowa z dwustronnym chodnikiem i zatokami | 10,9 | 58,6 | 12,0 | 14,6 | 3,9 |
| Obiekt 2112-531 (5335) chodnik (kierunek) pieszo-rowerowy na obszarze miejskim | 20,5 | 44,5 | 10,3 | 19,5 | 5,2 |
| Obiekt 2112-613 (5345) parking ogólnodostępnny dla 180 samochodów osobowych | 16,2 | 54,6 | 9,0 | 16,0 | 4,2 |
| Obiekt 2112-822 (7122) oświetlenie parkingu, ulicy | 15,6 | 60,6 | 6,2 | 13,9 | 3,7 |
| Obiekt 2112-912 (5462) przepust drogowy jednoutorowy z rur ielbetowych III 100 cm | 19,5 | 41,5 | 12,9 | 20,6 | 5,5 |
| Obiekt 2141-111 (5424) most w kierunku autostrady „A” dwujezdniowy, kablobetonowy, jedenastoprzkiowy | 12,2 | 41,4 | 20,3 | 20,6 | 5,5 |
| Obiekt 2141-332 (5411) wiadukt w kierunku drogi gijwnej „G” jednojezdniowy, ielbetowy czteroprzkiowy | 12,2 | 47,4 | 17,0 | 18,5 | 4,9 |
| Obiekt 2222-131 (5565) sier wodociągowa z rur ielbetowych ø 300 mm | 12,9 | 53,6 | 12,9 | 16,3 | 4,3 |
| Obiekt 2222-322 (5557) sier ciepłownicza z rur preizolowanych z alarmem 2 Ч ø 168,3 Ч 250 mm | 8,6 | 69,7 | 8,2 | 10,7 | 2,8 |
| Obiekt 2223-113 (5575) sier kanalizacyjna z rur PVC ø 250 mm | 34,4 | 35,3 | 1,5 | 22,8 | 6,0 |
| Obiekt 2223-116 (5571) sier kanalizacyjna z rur kamionkowych ø 300 mm | 31,8 | 36,0 | 3,7 | 22,5 | 6,0 |
| Obiekt 2223-122 (5574) sier kanalizacyjna z rur ielbetowych WIPRO ø 800 mm | 30,7 | 30,5 | 7,8 | 24,5 | 6,5 |
| Obiekt 2223-531 (6411) oczyszczalnia ścieków – zbiornik ścieków dwojonych | 20,3 | 47,7 | 8,7 | 18,4 | 4,9 |
| Obiekt 2411-111 (5711) boisko na terenie przyszkolnym | 9,1 | 65,8 | 9,9 | 12,0 | 3,2 |

Źródło: „Zagregowane wskaźniki waloryzacyjno-prognostyczne ZWW”, Zeszyt 74/2017 (1770) IV kwartał 2017 r., s. 53-185, Ośrodek Wdrożeń Ekonomiczno-Organizacyjnych Budownictwa PROMOCJA Sp. z o.o. [9].

³ Wyroki:

- „[...] przez »odbudowę« rozumie się odtworzenie istniejącego wcześniej i zniszczonego obiektu budowlanego, w tym samym miejscu i z zachowaniem pierwotnej wielkości, kształtu i układu funkcjonalnego” – wyrok WSA w Kielcach z 13 marca 2014 r., II SA/Ke 970/13;
- „Jeśli inwestor wykonuje roboty budowlane polegające na wykonaniu faktycznie nowego obiektu, choć z wykorzystaniem elementów konstrukcyjnych pozostałych po innym obiekcie budowlanym, który uległ zniszczeniu to dokonuje nie remontu lecz odbudowy, a więc budowy wedle definicji zawartej w art. 3 pkt 6 p.b.” – wyrok WSA w Opolu z 28 stycznia 2016 r., II SA/Op 484/15;
- „Natomiast przez »odbudowę« rozumie się odtworzenie istniejącego wcześniej i zniszczonego obiektu budowlanego, w tym samym miejscu i z zachowaniem pierwotnej wielkości, kształtu i układu funkcjonalnego.” – wyrok WSA w Kielcach 13 marca 2014 r., II SA/Ke 970/13.

Wyroby budowlane w budownictwie.

Artykuł 2 pkt 1 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych stanowi, iż przez wyrob budowlany należy rozumieć wyrob budowlany, o którym mowa w art. 2 pkt 1 rozporządzenia Nr 305/2011 [1] czyli każdy wyrob lub zestaw wyprodukowany i wprowadzony do obrotu w celu trwałego wbudowania w obiektach budowlanych lub ich częściach, którego właściwości wpływają na właściwości użytkowe obiektów budowlanych w stosunku do podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych. Zgodnie z art. 10 ustawy – *Prawo budowlane* [4], wyroby wytworzone w celu zastosowania w obiekcie budowlanym w sposób trwały o właściwościach użytkowych umożliwiających prawidłowo zaprojektowanym i wykonanym obiektom budowlanym spełnienie podstawowych wymagań, można stosować przy wykonywaniu robót budowlanych wyłącznie, jeżeli wyroby te zostały wprowadzone do obrotu lub udostępnione na rynku krajowym zgodnie z przepisami odrębnymi, a w przypadku wyrobów budowlanych - również zgodnie z zamierzonym zastosowaniem. Wyrob budowlany zastosowany w sposób trwały przy wykonywaniu robót budowlanych staje się częścią obiektu budowlanego. Każda część obiektu budowlanego powinna charakteryzować się: trwałością w projektowanym okresie użytkowania, odpornością pożarową w wymaganym czasie oraz zdolnością do przetrwania sytuacji wyjatkowych bez nieproporcjonalnie dużych szkód (integralność strukturalna). Oznakowanie wyrobu budowlanego zgodnie z wymaganiami określonymi w rozporządzeniu Nr 305/2011 [1] albo ustawie o wyrobach budowlanych [5], nie oznacza automatycznie możliwości zastosowania tego wyrobu w każdym obiekcie budowlanym. Możliwość zastosowania wyrobu zależy między innymi od warunków technicznych, jakie powinien spełnić dany obiekt budowlany.

Odpowiedzialność za stosowanie wyrobów, w tym wyrobów budowlanych, w sposób zapewniający zgodnie z przepisami, w tym techniczno-budowlanymi, i spełnienie podstawowych wymagań stawianym obiektom budowlanym ponoszą (zgodnie z mającymi zastosowanie przepisami) uczestnicy procesu budowlanego, w tym przede wszystkim projektant, kierownik budowy i inspektor nadzoru inwestorskiego [10], [11].

Zgodnie z zasadami normowania technicznego w budownictwie, materiały budowlane uzyskane z rozbiórek eksploatowanych obiektów budowlanych nazywa się materiałami staro- użytkowymi lub zużytymi. Te materiały mogą być ponownie stosowane do elementów budowlanych tego samego rodzaju - np. cegły lub dachówki z rozbiórki po oczyszczeniu a następnie po posortowaniu pod nadzorem kierownika budowy/robót, można ponownie wbudować w inny obiekt budowlany. Materiały zużyte mogą być wykorzystane w elementach budowlanych innego rodzaju o znacznie niższych wymaganiach, co do właściwości technicznych wyrobów budowlanych, np. odzyskane stalowe belki stropowe nadają się do użycia jako słupki ogrodzeniowe lub balustrady [12].

Wykorzystanie wyrobów budowlanych z rozbiórki/demontażu do budowy obiektu budowlanego

Zgodnie z art. 17 ustawy o odpadach hierarchia sposobów postępowania z odpadami obejmuje:

- 1) zapobieganie powstawaniu odpadów,
- 2) przygotowanie do ponownego użycia,
- 3) recykling,
- 4) inne procesy odzysku,
- 5) unieszkodliwienie.

Jeżeli nie jest możliwe zapobieganie powstawaniu odpadów lub ograniczenie ilości odpadów i ich negatywne oddziaływania na życie i zdrowie ludzi lub na środowisko, odpad budowlany należy przygotować do ponownego użycia.

Wyroby budowlane z rozbiórki/demontażu narażone są na wiele czynników negatywnie oddziałujących na ich właściwości w okresie:

- użytkowania i rozbiórki obiektu budowlanego,
- załadunku na nrodek transportowy,
- transportu,
- wyładunku,
- składowania.

W wyniku tych oddziaływań wyrob budowlany może doznać odkształceń, uszkodzeń oraz zmian parametrów mechanicznych, fizycznych i chemicznych. Przysięga, iż wyrob wtórny cechujący się wyjątkowymi parametrami jest bledny. Zdemontowane elementy obiektu budowlanego i wyroby pochodzące z rozbiórki nie mogą być ponownie wprowadzone do obrotu na podstawie dokumentów i oceny tych wyrobów dokonanych przed ich pierwotnym wprowadzeniem do obrotu.

Według wyjątków Departamentu Wyrobów Budowlanych Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego Głównego (GUNB) zawartych w piśmie znak DWB.4131.70.2018 z dnia 2 lipca 2018 r.⁴ [11]: „przepisy nie przewidują jednoznacznych regulacji w zakresie możliwości zastosowania takich wyrobów w sposób trwały w obiekcie budowlanym – co nie oznacza jednakże bezwzględnego zakazu podejmowania takich działań”. Doświadczenie autorytety wskazuje, że inwestorzy wykorzystują w budownictwie m.in.:

- zdemontowane elementy konstrukcji stalowych (np. słupy i belki do budowy hal stalowych),
- porozbiórkowe cegły ceramiczne i klinkierowe (np. oczyszczone z zaprawy cegły do renowacji obiektów zabytkowych),
- porozbiórkowe dachówki ceramiczne (np. przesegregowane dachówki ceramiczne do wykonania poszycia dachów obiektów zabytkowych),
- zdemontowane stolarki drzwiowe.

Niekiedy ponowne użycie odpadów budowlanych lub ich recykling mogą okazać się niemożliwe z przyczyn technologicznych lub nieuzasadnione z przyczyn ekologicznych lub ekonomicznych. Sytuacja taka może mieć miejsce w przypadku odpadów budowlanych z obiektów przemysłowych. W obiektach takich, a zwłaszcza w ich instalacjach mogą znajdować się pozostałości szkodliwych, toksycznych lub wybuchowych związków chemicznych, które wymagają usunięcia lub zneutralizowania w bezpieczny sposób przed przystąpieniem do robót rozbiórkowych. Rozbiórki obiektów takich jak oczyszczalnie ścieków, obiekty przemysłu rolnego, spożywczego, farmaceutycznego i ochrony zdrowia, a także systemy kanalizacji sanitarnej mogą być skażone biologicznie niebezpiecznymi drobnoustrojami lub mikro- i makroorganizmami, przenoszącymi groźne choroby. Metody usuwania niebezpiecznych pozostałości opracowuje się z technologiami procesów chemicznych lub biologicznych [13], [14], [15], [16].

Według GUNB [10], [11] ocena, że wyrob budowlany z rozbiórki/demontażu posiada wymagane do konkretnego zastosowania właściwości użytkowe powinna być potwierdzona np. ekspertyzą rzeczoznawcy/ ocenę techniczną osoby z odpowiednimi uprawnieniami budowlanymi, dokonanej, zależnie od potrzeb, w oparciu o oględziny, stosowne badania, obliczenia, czy informacje dotyczące pierwotnego wprowadzenia do obrotu takiego wyrobu. W szczególności wyroby wtórne powinny zostać poddane badaniom makroskopowym oraz badaniom technicznym opartym na metodach akustycznych, elektromagnetycznych i mechanicznych. Ponowne wykorzystanie wyrobu budowlanego możliwe jest na wyłączną odpowiedzialność uczestników procesu budowlanego, w tym przede wszystkim osób wykonujących samodzielnie funkcje techniczne w budownictwie: projektanta, kierownika budowy i inspektora nadzoru inwestorskiego (co oznacza, że odpowiedzialności w tym zakresie nie ponosi pierwotny producent wyrobu budowlanego ani importer, który wprowadził wyrob do obrotu).

Recykling odpadów budowlanych

W Polsce, w szczególności w rejonach, w których występuje niedobór konkretnego materiału w formie zasobów, zaobserwować można rosnącą tendencję recyklingu polegającego na przetwarzaniu odpadów budowlanych na wyroby budowlane wykorzystywane w pierwotnym celu lub innych celach. Najczęściej recyklingowi poddawane są: opady i ziomy metaliczne oraz stopy metali⁵, gruz betonowy, gruz ceglany, szkło budowlane ze stuczek, drewno i jednorodne opady tworzyw sztucznych (zob. *Tabela 2*) [18].

⁴Pismo DWB GUNB nie stanowi oficjalnej wykładni prawa i nie jest wiążące dla organów administracji orzekających w sprawach indywidualnych.

⁵Obecnie w hutnictwie spotykane są dwa podstawowe procesy produkcji stali, wykorzystujące złom w różnym stopniu: proces konwertorowo-tlenowy (cechuje się ok. 80% wkładem surowki, resztę stanowi złom) oraz proces elektryczny (w większości przypadków składa się w 100% ze złomu stalowego).

Tabela 2 – Odpady budowlane z rozbiórki obiektu budowlanego, które można poddać recyklingowi.

| Odpad | Wyroby | Przykładowe zastosowanie | Uwaga |
|--|--|--|---|
| opady i ziomy metaliczne oraz stopyw metali | np. stalowe elementy konstrukcyjne, blachy trapezowe, zlewozmywaki, wanny, grzejniki wodne, rury, kanały wentylacyjne, balustrady oraz inne konstrukcje metalowe | <ul style="list-style-type: none"> w procesach hutniczych, do wykonania elementów małej architektury | |
| gruz betonowy | np. żelbetonowe elementy konstrukcyjne | <ul style="list-style-type: none"> jako kruszywa stabilizujące, przeznaczonego do podbudowy drogi oraz wzmocnienia gruntu, do wykonania warstw drenujących i wyrywających, jako kruszywo do produkcji betonu | <p>Kruszywo wtórne ma gorsze właściwości w porównaniu z kruszywem naturalnym. Obniżenie jakością uzasadnia obecność w jego składzie 25–60% zaprawy cementowej.</p> <p>Przylegająca zaprawa w dużej mierze przyczynia się do obniżenia jakości kruszywa. Oznacza się ponadto dużą porowatością, wchłanianie znacznej ilości wody, co utrudnia projektowanie mieszanki betonowej oraz kontrolowanie jej urabialności. Stosowanie kruszywa recyklingowego wpływa w znaczący sposób na pogorszenie trwałości i wytrzymałości betonu [17].</p> |
| gruz ceglany | np. cegły | <ul style="list-style-type: none"> w drogownictwie jako podbudowa na niezbyt silnie obciążonych drogach i ścieżkach, jako kruszywo do produkcji betonu mającego zastosowania do wykonania elementów niekonstrukcyjnych charakteryzujących się małym sękiem i dużą ognioodpornością | |
| szkło ze stuczeki | np. okna, luksfery | <ul style="list-style-type: none"> do produkcji wykładzin szklanych, mat i płyt izolacyjnych, do produkcji szta piaskowego, do produkcji tynków | |
| drewno | np. drewniane elementy konstrukcyjne, drewniane posadzki przemysłowe | <ul style="list-style-type: none"> do produkcji płyt wiórowych, do produkcji płyt pilśniowych, do produkcji prefabrykowanych trójwarstwowych kompozytów ściennych, do produkcji kompozytów drewno-polimerowych, do wykonania detali architektonicznych | drewno może być nasączane toksycznymi substancjami np. Xylamitem lub kreozotem węglowym. |
| odpady asfaltowe, smoly oraz produktyw smołowych | np. izolacje przeciwwilgociowe | do produkcji granulatu gumowo-asfaltowego (TecRoad) | |
| odpady polistyrenu spienionego | np. płyty styropianowe fasadowe | <ul style="list-style-type: none"> granulat polistyrenu ma zastosowanie jako dodatek termoizolacyjny do pustaków i tynków, do produkcji płynnej zaprawy cementowo-styropianowej (Polytech), do produkcji styrozolu, | |
| tworzywa sztuczne | np. maty drenujące, geowłóknina z tworzywa sztucznego | do produkcji tzw. „plastikowego betonu” | |

Źródło: <http://www.kontraktywbudownictwie.pl> [18].

Czynniki zwiększające stopień wtyrnego wykorzystania odpadów budowlanych

Stopień odzysku surowców i wyrobów budowlanych zależy od wielu czynników, począwszy od oferty producenta, wyboru projektanta i inwestora, rozwiązania konstruktora i technologa oraz wykonawcy robót budowlanych, a także przebiegu fazy użytkowania obiektu itd.

Do czynników zwiększających stopień wtyrnego wykorzystania odpadów budowlanych można zaliczyć:

- zapewnienie wysokiej jakości wyrobów budowlanych na etapie projektowania i wykonawstwa obiektu budowlanego poprzez ścisłe przestrzeganie technologii przetwarzania oraz powszechne stosowanie kontroli jakości robót budowlanych i wyrobów budowlanych;
- szersze stosowanie technologii segregacji oraz oczyszczania odpadów budowlanych w celu eliminacji zanieczyszczeń, które pogarszają ich jakość;
- przestrzeganie przepisów o wykorzystaniu surowców wtyrnych w działalności budowlanej, w tym hierarchii sposobów postępowania z odpadami oraz tzw. zasady bliskości⁶;
- rozwój przedsiębiorstw pozyskujących odpady budowlane w celu wykorzystania istniejącego w nich potencjału.

Wnioski

Reasumując:

- wyroby budowlane mają zrynicowaną trwałość, dlatego ich degradacja w czasie ma zasadnicze znaczenie. W celu dematerializacji i rematerializacji, detale obiektów budowlanych należy projektować i wykonywać w sposób trwały z możliwością łatwego usunięcia z użytego wyrobu i zastąpienia go nowym;
- o możliwości zastosowania przy wykonywaniu robót budowlanych danego wyrobu budowlanego w konkretnym miejscu konkretnego obiektu budowlanego (niezależnie od kwestii, czy i jakie wymagania prawne dotyczące wprowadzenia danego wyrobu do obrotu powinien on spełniać) rozstrzygać – w oparciu o przepisy, w tym techniczno-budowlane i zasady wiedzy technicznej – uczestnicy procesu budowlanego wykonujący samodzielne funkcje techniczne w budownictwie, o których mowa w art. 12 ust. 1 ustawy – *Prawo budowlane* [10], [11];
- odpady budowlane stanowią bardzo cenny surowiec wtyrny. Rozpraszanie i bezpowrotne zatrącanie potencjału odpadów budowlanych obniża racjonalność i rozrzutność współczesnej gospodarki wolnorynkowej kapitalizmu przemysłowego [13], [19];
- należy rozwijać wiadomości ekologiczne w branży budowlanej.

Bibliografia

1. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
2. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach.
3. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – *Prawo ochrony środowiska*.
4. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – *Prawo budowlane*.
5. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych.
6. Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 31 sierpnia 2017 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2018.

⁶Zgodnie z art. 20 ust. 1 i 2 ustawy o odpadach, odpady, z uwzględnieniem hierarchii sposobów postępowania z odpadami, w pierwszej kolejności poddaje się przetwarzaniu w miejscu ich powstania. Odpady, które nie mogą być przetworzone w miejscu ich powstania, przekazuje się, uwzględniając hierarchię sposobów postępowania z odpadami oraz najlepszą dostępną technikę, o której mowa w art. 207 ustawy – *Prawo ochrony środowiska* [3], lub technologię, o której mowa w art. 143 tej ustawy, do najbliższych położonych miejsc, w których mogą być przetworzone.

7. Ośrodek Rzecznawstwa i Techniki Budowlanej Oddziału Warszawskiego Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa, *Kruszka L., Chmielewski R., Muzolf P., L. Więclaw-Bator*, Ekspertyza techniczna nr 80/2015 dotycząca budynku Pawilonu Polski na Wystawie Światowej EXPO 2015 w Mediolanie we Włoszech, Warszawa X-XI.2015.
8. Więclaw-Bator L., Projekt umowy na zaprojektowanie, zbudowanie, utrzymanie i rozebranie Pawilonu Polski na Wystawie Światowej EXPO 2017 w Astanie w Republice Kazachstanu.
9. *Zagregowane wskaźniki waloryzacyjno-prognostyczne ZWW*, Zeszyt 74/2017 (1770) IV kwartał 2017 r., s. 53-185, Ośrodek Wdrożeń Ekonomiczno-Organizacyjnych Budownictwa PROMOCJA Sp. z o.o.
10. Pismo Departamentu Wyrobów Budowlanych Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego, znak DWB.4131.70.2018 z dnia 2 lipca 2018 r.
11. Pismo Departamentu Wyrobów Budowlanych Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego, znak DWB.4131.70.2018 z dnia 7 sierpnia 2018 r.
12. Kowalczyk Z., Zabielski J., *Kosztorysowanie i normowanie w budownictwie* // WSiP, Warszawa, 2005.
13. Nalepka M., Rawska-Skotniczy A., *Rozbiórki w kontekście zrównoważonego rozwoju*, // Builder / 2016, R.20, nr 6, 118-123.
14. Swirydziuk M., *Recykling odpadów budowlanych* // http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały_i_technologie,artykuł,recykling_odpadów_budowlanych,5198.
15. Końcianowski J., Jaskyja R., *Zagospodarowanie na drodze recyklingu odpadów budowlanych*, praca statutowa 8/613/S 2008.
16. Golacski M., *Recykling materiałów budowlanych* // Przegląd budowlany / 9/2011, 46-51.
17. Sadowska-Buraczewska B., *Kruszywa z recyklingu w budownictwie* // Inżynieria Ekologiczna / Vol. 40, 2014, 74–81.
18. <http://www.kontraktywbudownictwie.pl>.
19. Ulewicz M., *Gospodarka materiałami i odpadami budowlanymi w aspekcie europejskiej strategii zrównoważonego rozwoju* // Materiały Budowlane / 12/2016, 18-21.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ КАЧЕСТВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Захаренко А.В.

Введение. В настоящее время накоплен значительный опыт в сфере жилищного домостроения, в связи с чем особый интерес представляет рассмотрение этапов развития основных потребительских качеств жилых зданий, а также определение их оптимальных значений в ближайшем будущем. Развитие требований к жилищу было тесно взаимосвязано с общегосударственной политикой каждого из периодов. Так, вопросы необходимости создания качественного жилищного фонда для рабочего класса стали подниматься еще в царской России. В период установления советской власти решение жилищного вопроса происходило за счет массового расселения семей в существующие особняки и дворцы бывшей аристократии. Первые попытки возведения нового качественного жилища относятся к 20–30-м гг. прошлого столетия, когда появились так называемые дома-коммуны. В конце 40-х – нач. 50-х гг. вся строительная отрасль была направлена на восстановление жилищного фонда страны после военных действий. В данный период времени большая часть жилых зданий возводилась по индивидуальным проектам, в связи с чем они отличались так называемыми «излишествами» и низкой экономической эффективностью. Кроме этого большинство зданий предполагало коммунальный принцип заселения, что не соответствовало духу нового времени. В связи с этим вначале 60-х гг. начинают появляться новые типовые проекты, предполагающие поквартирное заселение, которое заложило основу жилищного домостроения на ближайшие несколько десятилетий под лозунгом – «Каждой семье – квартиру». Вплоть до распада СССР жилищное строительство совершенствовалось и увеличивалось в объемах. Следует отметить, что по многим оценочным параметрам, в частности по количеству построенных квартир, качеству жилых микрорайонов и т.п., СССР значительно опережал многие высокоразвитые зарубежные страны. Вначале 90-х гг. началось становление суверенной отечественной базы жилищного домостроения, основы которой были в большей степени переняты с советского периода. В качестве одного из наиболее перспективных направлений развития жилищного комплекса было принято строительство индустриальными методами, которые интенсивно совершенствуются до сих пор.

Основная часть. Основными оценочными показателями жилых зданий являются их потребительские качества, под которыми следует понимать архитектурно-планировочные и технические характеристики, обеспечивающие безопасность проживания, санитарно-гигиенический комфорт, а также различные социально-функциональные требования.

Одним из основных оценочных критериев жилого здания является его объемно-планировочное решение. Как известно, основа формирования отечественного жилищного домостроения была заложена еще в период дореволюционной России. Значительную долю жилищного фонда царского периода составляли коечно-каморочные квартиры в подвалах и на чердаках доходных домов, ночлежные дома и т.п. Из-за перенаселения, сырости, недостаточной инсоляции условия проживания в таких жилищах были на очень низком уровне. В связи с этим уже вначале 20-го века в царской России была установлена минимальная норма жилой площади на человека, равная 20 кв.аршин (10,1 м²). Фактически данная величина составляла менее 16 кв.аршин (8,25 м²) и в научных кругах называлась «голодной», «недостаточной» санитарной нормой [1].

С установлением советской власти наблюдаются первые радикальные попытки урегулирования жилищного вопроса. В соответствии с принятыми законами «О реквизиции квартир богатых для облегчения нужд бедных» и «О конфискации домов со сдаваемыми внаем квартирами» начинается массовое расселение людей в существующий жилищный фонд (доходные дома, бывшие аристократические особняки, новые жилые здания). Объемно-планировочное решение первых советских жилых зданий 20-х гг. было основано на проектах доходных домов дореволюционного периода. В 30-х гг. уже стали появляться дома новых типов, в частности, коридорные и дома-коммуны, объемно-планировочное решение которых можно считать начальным этапом создания жилой ячейки современного типа. Если рассматривать структуру жилища данного периода, то можно отметить, что к середине 30-х гг. соотношение между квартирами различной «комнатности» было следующим: 2-комнатные – 30%, 3-комнатные – 50–60%, 4-комнатные – 10–20%. Таким образом, объем коммунального жилищного фонда (состоящего в основном из 3–4-комнатных квартир) достигал 80% [2].

В первые послевоенные годы наиболее востребованными становятся однокомнатные квартиры (около 50% квартир из общего жилищного фонда страны). Однако уже к середине 50-х гг. была выявлена неэффективность такого распределения, т.к. население страны увеличивалось и, как следствие, возрастал количественный состав семей. В связи с этим было принято решение о перераспределении соотношения между квартирами: однокомнатные – 20%, двухкомнатные – 40%, трехкомнатные – 26%, четырехкомнатные – 4% [3]. Следует отметить, что основные требования к жилищу первого послевоенного периода заключались в обеспечении минимальных потребительских качеств. В связи с этим подобное жилье не отличалось особым комфортом: площадь кухни составляла 5,5–6,0 м² и имела вход через общую комнату, в большинстве случаев предусматривался совмещенный санитарный узел, ширина передней составляла 1,2 м, отсутствовали встроенные шкафы и кладовые, вход в спальни также осуществлялся через общую комнату. Следует отметить, что введение в проектные решения 50-х гг. проходных комнат было осознанным и преследовало целью исключение возможного коммунального заселения нового жилья.

В данный период времени была официально принята общегосударственная программа по одноподсемейному заселению квартир (постановление 1957 г. «О развитии жилищного строительства в СССР»). В качестве основной планировочной единицы в проектируемых жилых зданиях данного периода была по-прежнему взята минимальная площадь на человека, равная 9,0 м². Интересно, что подобной величины при проектировании жилья придерживались и в европейских странах. В общем случае разработка новых типовых проектов позволила увеличить средний показатель поквартирного заселения семей с 30% в 1956–1957 гг. до 90% в 1965 г. [4].

В конце 60-х гг. согласно постановлению «О мерах по улучшению качества жилищно-гражданского строительства» (1969 г.) были пересмотрены нормы проектирования жилья и введены некоторые усовершенствования. В частности, новые типовые проекты характеризовались увеличением средней площади квартир (ориентировочно на 15–20%) и их типов (варианты с меньшей площадью – А и большей площадью – Б). Увеличение средней площади квартир было связано с локальным увеличением площади кухонь (с 6 до 7,5–8 м²), передних, ванных комнат (с расчетом размещения в них ванн длиной 1,7 м и стиральных машин), включением в состав подсобных помещений кладовых и встроенных шкафов. В 70-х гг. определились также тенденции в уменьшении количества квартир на этаже секции – с четырех до трех, что позволило повысить гигиенические качества квартир и градостроительную маневренность подобных домов [5].

В 70-х гг. была выявлена проблема несоответствия между структурой основных типовых серий жилых зданий и фактическим составом большинства семей. В частности, был выявлен недостаток 3-4-комнатных квартир. Подобная ситуация привела к возобновлению в 70-х гг. в некоторых городах покомнатного заселения. Например, в Новосибирске уровень поквартирного заселения снизился с 96% в 1966 г. до 89% в 1975 г. [6].

В данный период в области исследования объемно-планировочного решения жилой ячейки появляется обобщенное понятие «структурной модели жилища». Было установлено, что любое жилье должно иметь стандартный набор помещений, предназначенных для выполнения различных функций, т.е. соответствовать определенной модели, отражающей уровень развития народно-хозяйственной и культурно-бытовой сфер существования общества. Очевидно, что принятая структурная модель жилища первого послевоенного периода уже не соответствовала уровню развития техники, предметов, сознания человека, например, 70-х гг., т.к. помимо увеличения количества предметов, появляющихся в обиходе людей, в самом жилище потребовались новые функциональные зоны (досуга, рабочего места). В данный период вновь наиболее актуальными становятся вопросы возможной трансформации существующего жилища, в частности, выдвигается идея создания гибкой планировки не отдельной квартиры, а целой секции или даже целого дома. В 80-х гг. в сфере жилищного домостроения продолжили свое раз-

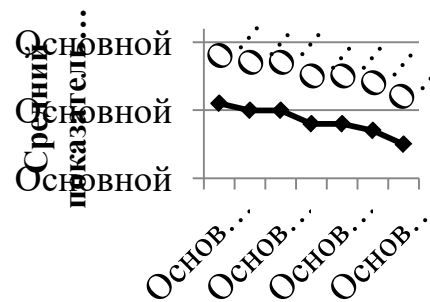


График 1 – Изменение среднего показателя численности городской семьи в Беларуси

витие тенденции по увеличению «комнатности» жилой ячейки. Кроме этого в данный период начинается интенсивная разработка типовых проектов жилых зданий так называемого «четвертого поколения» с еще более улучшенной планировкой жилых ячеек.

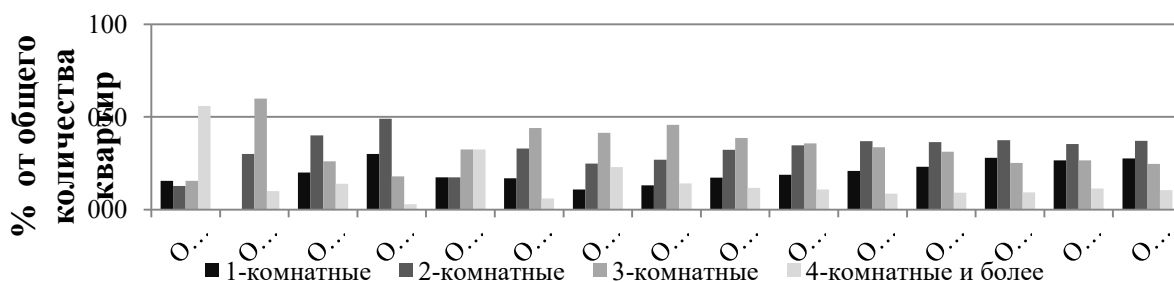


График 2 – График изменения соотношения между квартирами различной «комнатности» в структуре возводимого жилья

Если рассматривать современный период, то можно отметить, что помимо уменьшения «комнатности» квартир, в отечественном жилищном домостроении намечаются тенденции к возрождению малометражных квартир [7]. Среди достоинств подобного жилья можно выделить большую финансовую доступность, определенную функциональность за счет объединения кухни и общей комнаты, гибкую планировочную структуру. К недостаткам относятся высокая звукопроницаемость, отсутствие уединенности в пределах квартиры, ухудшение воздушной среды из-за хозяйственно-бытовых процессов, эффект перенаселенности здания и т.п. Существенное значение как в малометражных, так и в обычных квартирах имеет зона вспомогательных помещений. Как видно из рисунка 3 (по значению уменьшающегося планировочного коэффициента) величина данной категории значительно возросла за последние десятилетия.

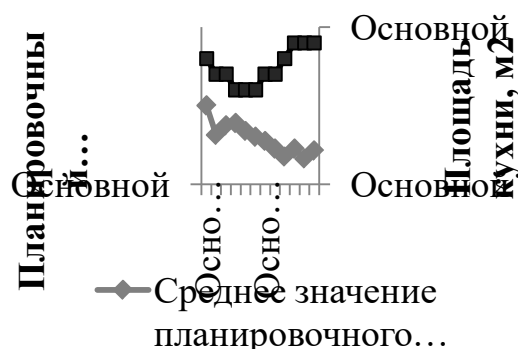


График 3 – Изменение планировочного коэффициента K_1 квартир

Санитарно-гигиеническое состояние внутренней жилой среды обуславливается множеством различных факторов, в т.ч. инсоляцией помещений, микроклиматом, уровнем инженерно-технического обеспечения, шумовой и вибрационной обстановкой, радиационным фоном, качеством воздушной среды, высотой и габаритными размерами жилых помещений и т.п. Важную роль в формировании безопасной воздушной среды играет разработка методик по её очищению от различных загрязняющих примесей. На сегодняшний день, основным способом обновления воздушной среды помещений является их вентиляция, определяющим критерием которой является обеспечение требуемого воздухообмена в помещениях различного назначения. Впервые воздухообмен в помещениях был изучен Петтенкофером и Флюгте, которые установили предельное содержание углекислоты в воздушной среде от 0,07 % до 0,1 %. В отечественной практике учет воздухообмена в помещениях рассматривался уже в дореволюционной России. Так, официальные санитарно-гигиенические требования того периода заключались в обеспечении не менее 25 м^3 на одного человека с 3-х кратным воздухообменом в час. Однако по факту из-за ряда социально-экономических причин данные требования не выполнялись. В связи с этим гигиенисты даже установили так называемую «норму компромисса», некий минимум, равный 11 м^3 на 1 человека, который также не соблюдался. В нормах 60-х гг. ранее принятый норматив оставался прежним, в частности на взрослого человека приходилось около $25\text{--}30 \text{ м}^3$. В дальнейшем данные требования практически не изменялись и являются актуальными в настоящее время [8]. Необходимо отметить, что в условиях интенсивного внедрения в проектируемые здания различных энергоэффективных мероприятий, все большее распространение получают здания с принудительной приточно-вытяжной вентиляцией, которая способствует более эффективному контролю воздухообмена в помещениях.

Одним из важнейших показателей экологического благополучия воздушной среды жилой зоны является показатель *озеленения территории*. С первых лет установления советской власти благоустройство городских территорий занимало одну из главнейших позиций в общегосударственной политике. Причиной этому послужили крайне неблагоприятные условия, сложившиеся в городах дореволюционной России. Высокая плотность застройки, отсутствие планировки территорий, низкий уровень озеленения городов способствовали перенаселению, ухудшению качества жилой среды и, как следствие, массовому распространению различных инфекций и заболеваний. Первые официальные нормативно-технические требования к городскому озеленению были установлены в СН 41-58 «Правила и нормы планировки и застройки городов», в соответствии с которыми на одного жителя города должно было приходиться не менее 50 м² зеленых насаждений. Следует отметить, что фактически данные требования не выполнялись. Так, например, к 1959 г. обеспеченность зелеными насаждениями в г. Минске составляла всего лишь 17 м². Согласно требованиям градостроительных норм и правил 60-х гг. было установлено, что *уровень озелененности* жилой зоны должен составлять не менее 40–45 % от общей территории микрорайона. Важно отметить, что озеленение жилых районов имело очень важное значение при массовом индустриальном домостроении, т.к. в данном случае именно за счет архитектурного ландшафта стало возможным разнообразить и украсить типовую жилую застройку. В последующие десятилетия озеленению городских территорий также уделяли значительное внимание, предлагая самые разнообразные варианты усовершенствования «зеленых» площадей города. Например, в 70-х гг. выдвигается инновационное решение проблемы озеленения жилых территорий путем устройства зеленых островков в объеме жилого здания, на так называемых террасах, т.к. было установлено, что жители домов повышенной этажности (в частности, проживающие выше 7 этажа) намного реже выходят на улицу, чем жители более низких этажей. Показатель уровня озелененности городов стал широко использоваться с введением СНиП 2.07.01-89*, согласно которому его величина устанавливалась равной не менее 40 % в границах города, и 25 % – в границах территории жилой или смешанной застройки. В настоящее время требования остались прежними, однако, как показывают многочисленные исследования, в большинстве городов нашей страны они выполняются не в полной мере.

Важное значение в формировании благоприятной санитарно-гигиенической среды имеет показатель освещенности. Исследования разрушительного воздействия ультрафиолетовых лучей на различные болезнетворные микроорганизмы, проведенные английским профессором М. Вардом, позволили сделать вывод о том, что солнечный свет является неотъемлемой частью здорового микроклимата любого жилища. Такие же результаты были получены французскими учеными, которые изучали вопросы массового развития туберкулеза среди населения, проживающего в неблагоприятных условиях. По результатам проведенных исследований было установлено, что одним из факторов, предотвращающих развитие данного заболевания, является солнечный свет, который убивает подобные бактерии в течение трех дней. В целом, как в дореволюционной России, так и в советский период показатель освещенности жилых помещений являлся одним из главных при определении их пригодности для жизни. Современные нормы естественного освещения жилища в большей степени базируются на советских нормативах. Таким образом, одним из ключевых показателей в вопросе организации комфортной жилой среды является достаточная *инсоляция* помещений.

На сегодняшний день одним из самых агрессивных факторов урбанизированной среды является *шум*. Наиболее интенсивно вопросами повышения звукоизоляции в жилых зданиях стали заниматься в конце 60-х гг., когда после возведения индустриального жилья первого поколения были выявлены значительные недостатки акустической среды данного жилища. Среди основных причин недостаточной звукоизоляции выделяли низкие нормативные требования, а также низкое качество строительно-монтажных работ. Уже в начале 70-х гг. большинство типовых проектов зданий индустриальной постройки было усовершенствовано по различным направлениям, в т.ч. по объемно-планировочному решению и конструктивной схеме. Увеличение шумовой защиты в большинстве проектах осуществлялось за счет увеличения толщины межквартирных перегородок (со 120 мм до 160 мм), повышения звукоизоляции междуэтажных перекрытий, а также усовершенствования узлов прохода инженерных коммуникаций через перекрытия. Важным направлением в борьбе с шумом в 70-х гг. становится разработка шумозащитного объемно-планировочного решения здания, при котором жилые комнаты были обращены во двор, а подсобные – на центральные улицы. В результате исследований 80-х гг. в нормативную базу оценки шумовых воздействий вместо показателя звукового давления была введена оценка показателя уровня звука в дБА, что позволило более точно учитывать влияние происходящего шума на организм человека. Было также установлено,

что значительное влияние на звукоизоляцию оказывала массивность и частота расположения внутренних перегородок: чем больше массивность и шире шаг, тем большая звукоизоляция наблюдалась у здания в целом. Согласно современным нормативам все жилые здания разделены на три категории по шумовой комфортности: высококомфортные (категория А), комфортные (категория Б) и с допустимыми условиями проживания (категория В), для каждой из которых установлены свои нормативные требования эквивалентного уровня шума. Для сравнения можно отметить, что, например, в странах ЕС проблема шума и вибраций также является очень важной. Результаты исследований показали, что в дневное время более 40 % населения стран ЕС подвергается воздействию шума, превышающего 55 дБ, более 20 % – 65 дБ, в ночное время более 30 % подвергается воздействию шума, превышающего 55 дБ. Важное значение в нормативно-технической базе Европейских стран имеют так называемые *шумовые карты*, отражающие максимальные уровни шума в тех или иных регионах города.

Формирование благоприятной санитарно-гигиенической среды в жилище является основной задачей *системы инженерно-технического обеспечения* здания, развитие которой началось уже в конце XIX – нач. XX вв. Причиной этому послужила, как уже отмечалось, катастрофическая антисанитарная обстановка, которая сложилась в большинстве крупных городов царской России. В данный период в жилые здания уже стали широко внедряться такие системы, как водопровод, канализация, отопление, вентиляция, газоснабжение, электричество и т.п. По данным 1890 г., например, в Петербурге количество квартир с водопроводом составляло уже около 60% от общего количества.

В первые годы установления советской власти значительное внимание при планировке городов уделялось организации систем централизованного водоснабжения и канализации, в частности, в 1934 году с принятием постановления «Об улучшении жилищного строительства» устройство данных систем в жилых домах стало обязательным. С середины 20-х гг. в отечественную практику жилищного домостроения начинает широко внедряться система центрального отопления, которая позволила значительно улучшить санитарно-гигиеническое благополучие внутренней среды жилища. В общем можно отметить, что в конце первой пятилетки (конец 20-х гг.) произошел первый значительный скачок уровня инженерно-технического обеспечения жилых зданий по сравнению с началом XX века. Так, например, уровень обеспеченности водопроводом вырос до 71%, канализацией – с 13,7% до 69,7%, центральным отоплением – с 9,8% до 45,1%, электроосвещением – с 78% до 95,7% [9].

С учетом повышения в 30-х гг. этажности жилых зданий актуальной задачей жилищного домостроения СССР становится необходимость установки лифтового оборудования и мусоропровода. В данный период также начинается постепенная газификация городов страны. Однако данный процесс протекал достаточно медленно. Иная ситуация обстоит с электрификацией. К 1939 г. СССР занимало уже 2-е место в мире по выработке и потреблению электрической энергии. В частности, расход электричества на коммунально-бытовые нужды по сравнению с 1913 годом выросли в 18 раз.

В первый послевоенный период развитие инженерно-технической базы городов продолжилось. С середины 50-х гг. в странах СССР интенсивное развитие получает система горячего водоснабжения, которая имела важное экологическое значение, т.к. удаление газовых котлов из ванных комнат значительно улучшало качество воздушной среды.

Общий уровень инженерно-технического обеспечения жилья к середине 60-х гг. значительно вырос. Так, например, в Беларуси по данным на 1964 г. уровень обеспеченности различным инженерно-техническим оборудованием по сравнению с 1955 г. вырос следующим образом: центральным отоплением – в 5,5 раз, водопроводом – в 5 раз, канализацией – в 7 раз [10]. В данный период значительно вырос уровень газификации жилищного фонда. Если в 1958 году газом были снабжены около 2 млн. квартир, то в 1966 г. – в 6 раз больше. Однако одновременно с развитием системы газоснабжения стали разрабатываться принципы замены газовых кухонных плит на электрические, т.к. первые из них оказывали негативное влияние на состояние воздушной среды. Кроме этого использование электрических плит позволяло уменьшить габаритные размеры кухонь, что способствовало увеличению жилой площади. В области горячего водоснабжения было предложено устанавливать водомеры, которые по подсчетам должны были снизить расход горячей воды на 40%.

В 70–80-х гг. продолжились исследования в области обеспечения требуемой вентиляции в жилых зданиях. Интересны также предложения по созданию централизованной системы мусороудаления по типу канализации. В данный период времени уже велись интенсивные разработки по внедрению электрического отопления.

Если рассматривать современное инженерно-техническое обеспечение жилых зданий, то, в целом, оно идентично принятому в советский период. При этом важно отметить, что постепенное внедрение принципов энергосбережения при строительстве зданий и сооружений способствует использованию соответствующих энергосберегающих технологий, например, принудительной приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла. Примером начала использования энергосберегающих технологий в жилищном строительстве может служить первый в Беларуси и странах СНГ энергоэффективный дом, построенный в 2007 г. в г. Минске на базе типовой серии М111-90. Необходимо отметить, что одной из прогрессивно развивающихся систем энергообеспечения здания является система электроснабжения. В настоящее время установлено, что в среднем для домохозяйства, состоящего из одного человека необходимо 80 кВт·ч электроэнергии, из двух – 140 кВт·ч, из трех – 180 кВт·ч [11]. При этом из-за постоянно увеличивающегося количества используемых бытовых приборов, в т.ч. электрических кухонных плит, а также повышения актуальности внедрения различного энергосберегающего инженерного оборудования объемы потребляемого электричества в ближайшем будущем будут увеличиваться. Преимущественное использование электрической энергии станет еще более актуальным с вводом в действие строящейся в Беларуси АЭС.

Одним из важнейших современных показателей качества жилья является его архитектурная выразительность. Если рассматривать архитектуру жилых зданий 30-х гг., то можно отметить, что она полностью подчиняется требованиям архитектурного ансамбля всего города, основанного на идеях социалистического направления. Нередко жилые здания становились частью монументального ансамбля застройки главных магистралей, центральных площадей и т.п. В данный период среди основных принципов архитектурного оформления жилых зданий были пространственность (за счет террас, отступов), силуэтность, обеспечение светотени за счет лоджий, карнизов и т.п. В последствие данный подход будет раскритикован, т.к. создание жилья подобного типа несет значительные стоимостные затраты.

При рассмотрении вопроса эстетичности жилья индустриального строительства, в первую очередь, стоит вспомнить основные цели и задачи жилищного домостроения того периода. В 1957 г. с выходом Постановления СССР «Об устранении излишеств в гражданском строительстве» приоритетным направлением жилищного домостроения стал принцип «строить быстро, много и дешево». Очевидно, что вопросы красоты в сложившейся ситуации оставались на второстепенных ролях. За критерии эстетичности в данный период времени были приняты идеальная отточенность и чистота геометрической формы, совершенство отработки плоскостей всех элементов. В целом требования к архитектурной выразительности здания были снижены до минимума. Стоит привести следующие данные, согласно которым отделка фасадов новых типовых зданий была снижена до 2–3% от общей стоимости строительства, по сравнению с предыдущими значениями (8–10%) [12].

Вопросами недостаточной эстетичности возводимых индустриальным методом зданий задалась уже в 60-х гг. прошлого столетия. Получилось так, что вместе с так называемым «ненужным украшательством» из архитектурного облика здания исчезли многочисленные выразительные элементы. Среди основных недостатков выделяли однообразность, монотонность, невыразительность как отдельных зданий, так и жилой застройки в целом [13]. Уже в 1974 г. были выпущены «Рекомендации по повышению архитектурно-художественного уровня массовой жилой застройки», в которых среди основных способов по улучшению эстетичности внешнего вида жилых зданий выделяли более крупную дифференциацию элементов фасада (не «на комнату», а например, «на квартиру»), оформление верхнего края и торцевых участков фасадов, что не позволяло зрительно увеличиваться зданию в размерах, дифференцированное цветовое решение фасада, применение элементов с фактурной поверхностью, смещение отдельных секций по горизонтали и вертикали, индивидуализацию первого этажа. Необходимо отметить, что значительное влияние на внешний облик зданий индустриального строительства оказывала разрезка наружных стен, которая в большинстве случаев представляет собой квадратную разрезку, размером на комнату, что обусловило наличие характерного фасада «в клетку». Немаловажную роль во внешнем облике здания индустриального строительства играли также балконы и лоджии. В истории архитектуры индустриального домостроения можно выделить этап так называемой «балкономании», когда данные элементы устраивались повсеместно, без учета окружающей обстановки территории застройки и общей архитектурной выразительности здания.

Если рассматривать современные показатели архитектурной выразительности жилых зданий индустриального строительства, то можно отметить значительное улучшение их внеш-

него облика по сравнению с советским периодом. В современных зданиях уже не только присутствуют выразительные конструктивные элементы (эркеры, разнообразные выступы, французские балконы), но и широко используются высококачественные отделочные материалы и интересные цветовые решения. Безусловно, уровень архитектурной выразительности подобного типа жилья, по-прежнему, определяется объемом стоимостных затрат, которые предусматривается вложить в данный компонент здания. Следует учитывать, что в настоящее время жесткое сдерживание государством стоимости единицы площади является угнетающим фактором развития архитектуры индустриального жилищного домостроения. Однако, в целом, удачный опыт реализации достаточно интересных архитектурных решений подобных зданий свидетельствует о перспективах дальнейшего развития индустриальных принципов строительства без предубеждений о невозможности создания интересных архитектурных решений.

Выводы. В результате проведенных исследований были выявлены тенденции развития основных потребительских качеств современных жилых зданий в будущие периоды. Использование полученных результатов при выборе принципов проектирования нового жилья может, например, значительно снизить ресурсоемкость его последующего переустройства в процессе физического износа и (или) моральной деградации [14]. Например, выбор конструктивной схемы здания с изначально свободной планировочной структурой в будущем позволит увеличить эффективный срок эксплуатации подобного жилья в первую очередь за счет замедления моральной деградации внутренней планировки. Выявленные тенденции ресурсообеспечения здания свидетельствуют о необходимости учета возможности переоборудования здания под новые энергосберегающие требования и технологии, в т.ч. за счет использования принудительно-вытяжной вентиляции в помещениях, устройства дополнительной теплоизоляции, использования вторичных энергоресурсов и т.п.

Список источников

1. Флавицкий, И.Д. Несколько наставлений для практического руководства к оздоровлению наших жилищ / Извл. и соч. "Здоровое и вредное отопление жилых помещений" И. Флавицкого. – СПб., 1882. – 52 с.
2. Жилище. Вопросы проектирования и строительства жилых зданий: Материалы II пленума Правления Союза сов. архитекторов СССР 23-27 дек. 1937 г. – М. : Изд-во Всес. акад. архитектуры. Типо-литография им. Воровского, 1938. – 168 с.
3. Киселевич, Л. Начальный этап жилищного строительства в СССР / Л. Киселевич, И. Рабинович // Жилищное строительство. – 1958. – № 6. – С. 5–7.
4. Киселевич, Л.Н. Жилищное строительство в СССР / Л.Н. Киселевич. – М., 1967. – 41 с.
5. Воинов, А.А. Жилищное строительство в Белорусской ССР / А.А. Воинов. – Минск : Выш.шк., 1980. – 222 с.
6. Шубин, Б.Ф. Учет демографических требований при проектировании жилища / Б.Ф. Шубин // Жилищное строительство. – 1979. – № 11. – С. 16–18.
7. Жилищное строительство в Республике Беларусь: статистический сборник. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2014. – 203 с.
8. Губернский, Ю.Д. Жилище для человека / Ю.Д. Губернский, В.К. Лицкевич. – М. : Стройиздат, 1991. – 227 с.
9. Заславский, А.А. Жилищно-коммунальное хозяйство СССР / А.А. Заславский. – М.-Л. : изд. и тип. Изд-ва М-ва коммунального хозяйства РСФСР в Перове, 1948. – 64 с.
10. Кудрявицкий, А. Благоустройство городов и снижение его стоимости / А. Кудрявицкий // Жилищное строительство. – 1964. – № 6. – С. 22–25.
11. Разработать этапы снижения эксплуатационных затрат энергии в зданиях на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение до 2025 г. Подготовить проект концепции поэтапного снижения эксплуатационных затрат энергии в зданиях на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение до 2025 г.: отчет о НИР (заключит.) / Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.; рук. Л.Н. Данилевский. – Минск, 2014.
12. Жижель, И. Внедрять новое в жилищное строительство / И. Жижель // Жилищное строительство. – 1962. – № 6. – С. 3–5.
13. Лоповок, Л.И. Эстетика индустриального домостроения / Л.И. Лоповок. – М. : Стройиздат, 1967. – 188 с.
14. Пилипенко, В.М. Комплексная реконструкция индустриальной жилой застройки / В.М. Пилипенко. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2007. – 280 с.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Царенкова И. М.

Введение. Логистическая структура представляет собой организационно-технологические взаимосвязи элементов на различных иерархических уровнях, подчиненных друг другу, реализующих логистические функции для достижения общей цели логистической системы. Формирование логистических структур при строительстве автомобильной дороги производится с целью выполнения определенного объема работ с минимальными затратами времени и ресурсов, с учетом взаимосвязей между составом, оснащением строительной организации, а также видами, объемами выполняемых работ и условиями их производства. Установлено, что состав и оснащение дорожно-строительной организации зависит от ряда структурообразующих факторов. Иерархический принцип построения логистических структур проявляется в необходимости выделения отдельных структурных элементов, реализующих как управленческие, так и производственные функции на каждом уровне. В зависимости от степени укрупнения специализации отдельные структурные элементы подразделены на несколько видов. Их объединение в более крупные элементы на любом шаге построения логистической структуры осуществляется на основе различных видов комплексных взаимосвязей этих элементов, формируемых отраслевыми особенностями производства работ на дорожных объектах.

Технологическая взаимосвязь выражает взаимную зависимость технологических процессов, последовательно выполняемых друг за другом различными производственными отрядами. Временная взаимосвязь между элементами, возникает в связи с невозможностью разрыва в едином технологическом процессе операций, выполняемых различными производственными звеньями. Аналогично формируется и территориальная взаимосвязь, необходимая для формирования логистических цепей поставок по доставке конкретных видов материальных ресурсов из звеньев, расположенных на значительном удалении друг от друга.

Основная часть. В обобщенном виде логистическая структура представляет собой организационно-технологические взаимосвязи элементов на различных иерархических уровнях, подчиненных друг другу, реализующих логистические функции для достижения общей цели логистической системы. При системном подходе логистические структуры являются объединением многих логистических цепей: технологических, организационных, управляющих, которые соединяют все звенья не только в сфере обращения на этапах материально-технического обеспечения предприятия и реализации готовой продукции, но и в процессе производства [1, с.119].

Организационная структура службы логистики и ее подразделений зависит от целого ряда факторов, к которым относятся [2]:

- вектор производственно- хозяйственной деятельности организации;
- размеры и мощность предприятия;
- количество наименований, материально-технических ресурсов, их типов, марок, сортов и размеров, используемых на предприятии;
- количество поставщиков материально- технических ресурсов и их территориальное расположение;
- назначение и количество складов на предприятии, предназначенных для хранения материально-технических ресурсов;
- наличие в собственности предприятия транспортных средств, их количество по видам и типам;
- количество потребителей промежуточной или конечной продукции, выпускаемой предприятием.

Формирование логистических структур при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте участка автомобильной дороги производится с целью выполнения определенного объема работ с минимальными затратами времени и ресурсов, с учетом взаимосвязей между составом, оснащением строительной организации, а также видами, объемами выполняемых работ и условиями их производства.

Установлено, что состав и оснащение дорожно-строительной организации зависит от следующих структурообразующих факторов:

- вид строительно-монтажных работ. Выполнение работ по строительству искусственных сооружений и дорожной одежды, возведению земляного полотна, поставке материалов и производству смесей производится различными по составу организационными структурами;
- степень специализации труда. При поточном методе, специализированные звенья определенного состава последовательно продвигаются по фронту работ, выполняя поочередно один технологический процесс на каждой захватке;
- объем выполняемых работ. Выполнение больших объемов работ требует значительного количества техники, что влечет за собой необходимость создания обслуживающих и вспомогательных подразделений, обеспечивающих бесперебойность ее работы;
- уровень квалификации работников.

Формирование логистических структур базируется на четкой формулировке целей, которые должны быть достигнуты. При этом общая цель последовательно подвергается разделению на цели отдельных структурных элементов с учетом конкретных, для каждого нового дорожного проекта, условий их реализации. Таким образом, можно говорить о том, что система целей является основным структурообразующим фактором. Правильная постановка и формулировка целей всех элементов обеспечивает построение более четкой структуры. Графическая иллюстрация предлагаемого подхода представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Построение системы целей

Сначала формулируется общая цель Ц₀, которая в дальнейшем подвергается декомпозиции на подцели, Ц₀₁, Ц₀₂, Ц₀₃, Затем каждая из подцелей разбивается на свои частные цели: Ц₀₂₁, Ц₀₂₂, Ц₀₂₃, ..., Ц₀₂₁₄ и так до тех пор, пока нижестоящие подцели не станут технологическими процессами.

Декомпозиция целей осуществляется в направлении сверху вниз, а формирование организационной структуры – снизу вверх.

Иерархический принцип построения логистических структур проявляется в необходимости выделения отдельных структурных элементов, реализующих как управленческие, так и производственные функции на каждом уровне.

Данные структурные элементы различаются по производственной мощности, техническому оснащению, числу работников, уровню производственно-экономической самостоятельности.

В зависимости от степени укрупнения специализации отдельные структурные элементы можно разделить на несколько видов.

К структурным элементам первого вида относятся подразделения низового звена производства типа «бригада», «специализированное подразделение», формирующие логистический дорожно-строительный поток, трансформирующий материальный поток в отдельные части готовой продукции. Так при реконструкции участка автомобильной дороги возможно выделить большое количество таких структурных элементов: бригады выполняющие земляные работы обеспечивают перемещение потоков грунта и возведение насыпей и выемок, которые являются отдельными необходимыми элементами земляного полотна готовой автомобильной дороги; бригады выполняющие работы по устройству слоев оснований, многократно перемещают потоки различных видов материальных ресурсов (щебень, органические и неорганические вяжущие вещества, щебеночные смеси специально подобранного состава и др.) и строят часть отдельного конструктивного элемента дорожной одежды, который также входит в состав готовой автомобильной дороги и т.п. Таким образом, представленные структурными элементы формируются для производственного продвижения материального потока при выполнении отдельных простых технологических операций.

Структурные элементы второго вида являются более крупными, и как следствие менее многочисленными, и соответствуют структурам типа «прорабский участок». Они образуются из взаимосвязанных структурных элементов первого вида, функционирующих на определенной территории. Эти элементы формируются для выполнения отдельного комплекса технологических операций, приводящего к получению определенного конструктивного элемента готовой автомобильной дороги (земляное полотно, водопропускные трубы, дорожная одежда и т.п.).

Структурные элементы третьего вида по составу соответствуют структурам типа «дорожно-строительное управление» (ДСУ), «дорожно-эксплуатационное управление» (ДЭУ), «дорожно-строительный трест» (ДСТ). Они формируются при организации взаимосвязей между структурными элементами первого и второго видов и выполняют весь комплекс работ по строительству, реконструкции и капитальному участку дороги.

Если провести аналогию с классификацией потоков при поточном методе организации работ, структурные элементы первого вида формируют частные строительные потоки, второго – специализированные, третьего – комплексный поток.

Очевидно, что структурные элементы третьего вида решают не только технологические задачи, но больше задачи организации и управления производством. Они представляют собой внутрипроизводственные логистические системы дорожно-строительных организаций.

Формирование логистической структуры первого вида, целью которой является эффективное продвижение материального потока асфальтобетонной смеси при устройстве слоя покрытия, происходит на основе детального анализа отдельных составляющих технологического процесса в соответствии с требованиями типовых технологических карт и нормативных документов. Аналогично образуются структурные элементы по строительству группы водопропускных сооружений, возведению земляного полотна различными типами землеройной техники, устройству дополнительных и подстилающих слоев основания, основания и т.п. При этом в составе логистической структуры отдельное внимание уделяется составу транспортных подразделений, обслуживающих материальный поток, при его продвижении из мест аккумуляции или производства к месту проведения работ. Формирование данного структурного элемента, так называемого заготовительно-транспортного участка логистической цепи, целесообразно осуществлять с применением экономико-математических методов.

После установления конкретных структурных производственных элементов в составе логистической системы дальнейшее формирование ее логистической структуры при строительстве (реконструкции, капитальном ремонте) автомобильных дорог целесообразно реализовать в несколько этапов:

- выделение органов управления;
- построение системы обеспечения;
- оценка эффективности организационной структуры.

Это позволит не только создать новые структуры, но и оценить состояние существующих, их соответствие конкретным условиям производства работ, адаптировать эти структуры к изменяющимся условиям рынка дорожных работ.

При объединении структурных элементов отдельного вида i, j в более крупные элементы на любом шаге построения логистической структуры предлагается использовать показатель комплексных взаимосвязей этих элементов, P_{ij} :

$$P_{ij} = k_{\tau} P_{ij}^{\tau} + k_{\phi} P_{ij}^{\phi} + k_{\nu} P_{ij}^{\nu} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где P_{ij}^T – показатель технологической взаимосвязи элементов i, j ;

P_{ij}^F – показатель фронтальной взаимосвязи элементов i, j ;

P_{ij}^B – показатель временной взаимосвязи элементов i, j ;

k_T, k_F, k_B – коэффициенты значимости указанных показателей.

При этом требуется выполнение условия

$$k_T + k_F + k_B = 1. \quad (2)$$

Формирование различных видов взаимосвязей, между элементами логистической структуры, объясняются отраслевыми особенностями производства работ на дорожных объектах.

Технологическая взаимосвязь выражает взаимную зависимость технологических процессов, последовательно выполняемых друг за другом различными производственными отрядами. Если выполняемые процессы являются технологически близкими, то их можно объединить в более крупный структурный элемент. Так, устройство слоев дорожной одежды выполняется при строгом соблюдении нормативных требований к состоянию материалов, из которых устраиваются конструктивные слои, поэтому выполняющие данные процессы структурные элементы целесообразно объединить в логистический дорожно-строительный поток по строительству дорожной одежды, т. к. своевременная поставка используемых при этом материалов влияет на качество готового продукта, что требует соблюдения логистических принципов при организации работ. И наоборот, если при выполнении технологических процессов не требуется строго соблюдения временных ограничений, влияющих на качество используемых материалов, а также необходимо соблюдение технологических перерывов с целью стабилизации дорожных конструкций, объединение таких структурных элементов не целесообразно.

Отсюда вытекает существование временной взаимосвязи между элементами, в связи с невозможностью разрыва в едином технологическом процессе операций, выполняемых различными производственными звеньями. Работа логистического дорожно-строительного потока при выполнении различных видов работ неразрывно связана с работой транспортного звена по доставке материалов к месту производства работ. При этом от своевременности доставки материалов с конкретными техническими характеристиками (температура, влажность) зависит качество выполнения последующих работ (например, выгрузка асфальтобетонной смеси в асфальтоукладчик, последующая укладка покрытия и его уплотнение должны выполняться в едином временном режиме). Очевидно, что данные структурные элементы взаимосвязаны во времени и должны быть объединены в единую структуру.

Тоже можно говорить и о территориальной взаимосвязи. Формирование логистических цепей поставок по доставке конкретных видов материальных ресурсов из звеньев расположенных даже на значительном удалении друг от друга, с точки зрения логистики, является необходимым и целесообразным.

Органы управления логистической структуры создаются с учетом темпа информационного потока, а подразделения обеспечения – под объем заявок на обслуживание. Так, оптимальная производственная мощность ремонтной мастерской рассчитывается с помощью моделей массового обслуживания [3].

Выводы. Логистические структуры более инерционны, чем цели и условия их реализации, однако не всякое изменение последних требует изменения структур. Кратковременное изменение целей и условий может быть компенсировано в рамках существующих структур за счет перераспределения заданий между подразделениями или кратковременного повышения степени напряженности работ.

Изменение логистической структуры необходимо в тех случаях, когда появляются новые цели, которые не могут быть реализованы подразделениями существующей, существенно изменяются условия производства работ на объекте, в процессе производства работ появляется необходимость в выполнении работ, ранее не учтенных в проектной документации.

Список источников

1. Николайчук, В. Е. Теория и практика управления материальными потоками (логистическая концепция) : монография / В. Е. Николайчук, В. Г. Кузнецов. – Донецк : «КИТИС», 1999. – 413 с.
2. Управление ассортиментом и оценка качества товаров : учебник [Электронный ресурс] ; Региональный финансово-экономический техникум. – Курск, 2012. – 329 с.
3. Алиев, Т. И. Основы моделирования дискретных систем: учеб. пособие. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ – НЕИСПОЛЬЗОВАННЫЙ РЕСУРС В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Чех Е.В., Федосюк Н.А., Тимошук Н.А.

Введение. В современных условиях успешное развитие организаций и предприятий возможно без корпоративной системы управления проектами. Проектный менеджмент позволяет определить главные цели и задачи совершенствования, сформировать для их достижения необходимые планы, выдерживать точные сроки их выполнения, подбирать команду исполнителей, пользоваться едиными стандартами и шаблонами.

В условиях значительно возросшего в Республике Беларусь разнообразия организационно-правовых форм предприятий инвестиционно-строительной сферы возникает проблема разработки инновационных методов управления, увязывающих экономические интересы всех участников инвестиционного проекта и легко привязывающихся к специфике деятельности конкретной организации. Инновации в некоторых элементах механизма управления заключаются в принципах управления, методах и способах управления, функциях управления, а также аппарате управления.

Основная часть. Как показывает мировой опыт, наиболее эффективной инновацией при реализации инвестиционных решений является технология управления проектами (ProjectManagement).

В последние десятилетия актуальность проектного менеджмента, который, по сути, выступает важнейшей частью всей системы управления организацией (предприятием), существенно возросла, и в настоящее время его внедрение в деятельность компаний, прежде всего зарубежных, происходит с высокой степенью интенсивности.

В зарубежной практике различные сообщества профессионалов используют разные методологии управления проектами в соответствии с избранной ими базовой концептуальной моделью проектного подхода. Важной особенностью международной практики управления проектами является существование достаточного представительного перечня нормативных документов и систем сертификации специалистов по управлению проектами. Эти системы имеют как международный, так и национальный статус. Главная их цель – формирование сообщества профессионалов, имеющих общую управленческую культуру, которая позволяет учитывать на практике социально-экономическое состояние, традиции, особенности религий и образа жизни, ментальность и другие особенности определенной страны.

Развитие управления проектами в РБ стремится идти в русле мирового развития его методов, нацелено на создание национальной системы стандартизации и сертификации по управлению проектами. Но по сравнению с зарубежным инструментарием имеет место некоторое запаздывание, определяемое, главным образом, отставанием в развитии информационных технологий.

До настоящего времени в нашей стране, к сожалению, не сформированы профессиональные сообщества (ассоциации, союзы) в сфере управления проектами, не приняты соответствующие национальные стандарты. Опыт непосредственной организации проектного управления с использованием международных методик в органах исполнительной власти отсутствует. Необходимого диалога с международными профессиональными сообществами, а также зарубежными национальными ассоциациями по управлению проектами не сложилось. Наблюдается только частичное распространение мирового опыта, а также разовые контакты белорусских специалистов с зарубежными коллегами[1].

В настоящее время управление проектом сформировалось как сфера профессиональной деятельности. В международной практике проектный менеджмент – это одна из наиболее молодых технологий и специальностей. Важнейшие процессы в управлении проектом – это планирование, организация, координация, активизация и мониторинг состояния проекта на протяжении всего его жизненного цикла. Ранее планированию и контролю подлежали преимущественно показатели деятельности организации с более узким спектром параметров.

Объектом проектного управления является проект, понятие которого трактуется по-разному. Среди ряда различных формулировок проекта остановимся на следующей: DIN 69901, Германия: «Проект – это предприятие (намерение), которое в значительной степени характеризуется неповторимостью условий в их совокупности, например: задание; цели; временные, финансовые, людские и другие ограничения; разграничения от других намере-

ний; специфическая для проекта организация по его осуществлению» [2]. Отличие проекта от производственной деятельности заключается в том, что проект является однократной, не циклической деятельностью. Производственные циклы в чистом виде не являются проектами, однако в последнее время проектный подход все чаще применяется и к процессам, ориентированным на непрерывное производство. В этом случае признается, что проект – целенаправленное и запланированное создание или модернизация физических объектов, технологических процессов, технической и организационной документации для них, материальных, финансовых, трудовых и иных ресурсов, а также управленческих решений и мероприятий по их выполнению [3]. Такой подход к проектному управлению может быть использован при формировании структур управления для ряда направлений строительной деятельности. Вместе с тем теория и методология Project Management, разработанная зарубежными компаниями, требует существенной доработки и адаптации к конкретным условиям, к состоянию и тенденциям развития инвестиционно-строительной деятельности в Республике Беларусь и сельскохозяйственном строительстве, в частности.

Применение зарубежных технологий управления проектами не дает значительного результата в белорусской практике предпроектных работ, проектировании и строительстве объектов. Большинство зарубежных технологий не охватывает в комплексе весь жизненный цикл проекта от предпроектных разработок до его завершения, а также условия интеграции с участниками, реализующими общую программу или связанных общей целью функционирования. Необходимые направления деятельности его участников, в частности, по подготовке инвестирования и строительства объектов, организации и проведению конкурсов-торгов, проектированию и строительству объектов, планированию работ и ресурсов, взаиморасчетам за выполненные работы, экономическому и финансовому анализу реализации инвестиционного проекта, расчету потребности и обеспечению ресурсами увязываются не в полной мере.

Сейчас невозможно быть подрядчиком и справляться со всеми тонкостями и нюансами профессии без использования программ для управления проектами в строительстве. Такие программы предлагают огромное разнообразие функциональных особенностей, которые существенно упрощают процесс управления: все от бухгалтерии до составления графиков работы умения создавать наглядные диаграммы онлайн.

Для улучшения управления проектами данные программы должны выполнять следующие функции:

1) Управление взаимоотношениями с клиентами – позволяют подрядчикам хранить контактные детали своих клиентов или импортировать их из других источников и прикреплять важную документацию по каждому клиенту. Некоторые программные решения также дают возможность автоматизировать планирование и высылать напоминания клиентам.

2) Управление бухгалтерией и финансами – это то, без чего невозможно обойтись, особенно если вы производите все расчеты самостоятельно. Обычно они включают в себя формирование бюджета, составление платежных ведомостей, выставление счет-фактур, предъявление счетов, кругооборот наличных средств и т.д. Они помогают подрядчикам принимать взвешенные, обоснованные решения, иногда непосредственно на месте строительства объекта, когда необходимо оперативно спланировать расходы и сделать финансовый прогноз здесь и сейчас.

3) Управление временем проекта и командой – возможности управления командой переплетаются с планированием. Лучшие из приложений для управления командой фокусируются на командном прогрессе, статусе выполнения задач и управлении временем проекта, необходимого на выполнение задач. Они также создают возможности для координированной работы команды, чтобы каждый работник знал обо всех изменениях в ходе проекта.

4) Управление изменениями в проекте и документацией – некоторые подрядчики предпочитают пользоваться отдельным приложением для управления проектами, которое позволяет им видеть все их проекты с высоты птичьего полета, но в то же самое время иметь возможность отслеживать все мельчайшие детали проектов. Подобные возможности могут включать запросы информации, договоры поставок, отслеживание стадий, на которых находится проект, разрешительные документы, деловые предложения и управление всей документацией, касающейся проекта.

5) Управление материально-техническим обеспечением и ресурсами – возможности отслеживания ресурсов очень часто тесно взаимосвязаны с отслеживанием необходимых инструментов и оборудования. Они дают возможность мониторить и контролировать все процессы, связанные с материалами от ваших поставщиков, их расценками и оплатой. А благодаря возможности отслеживания ресурсов вы можете в любой момент времени знать, где, как и кем они применяются, и располагать всей необходимой информацией о сроках гарантийного обслуживания или необходимости в ремонте.

б) Поручительское гарантирование – ни один подрядчик не может выполнять работу на законных основаниях без лицензии и поручительских гарантий. К сожалению, их получение иногда может быть довольно долгим процессом, где сбор всех необходимых подтверждений на бумаге занимает целую вечность. На данный момент запросы на продление поручительских гарантий еще не были интегрированы в программные решения для подрядчиков. Но некоторые из компаний, оказывающие содействие в их получении, уже сделали первый шаг для подачи заявок на поручительские гарантии и их продления онлайн, через свои собственные программные решения. А кое-какие из этих компаний уже даже предлагают получить доступ к гарантии и возможности вывода ее на печать всего после 30 минут подачи заявки. Это огромное облегчение для тех подрядчиков, которые связаны тесными временными рамками или откладывали продление гарантий до последнего момента. Подобные программные решения также заранее высылают напоминания о необходимости продления поручительских гарантий [3].

Анализ направлений деятельности предприятий сельскохозяйственного строительства показывает, что методология управления проектами сегодня не находится в их поле зрения. Она могла бы способствовать успешному отбору, планированию и исполнению инвестиционных и инновационных проектов в аграрном секторе в целом и в сельскохозяйственном строительстве в частности.

Существует мнение, что применение методов управления проектами в организациях с устоявшимся бизнесом не несет ожидаемых выгод, а только усложняет управление. Это может быть верно только на ограниченный период экстенсивного развития. Но рыночные факторы всегда будут подталкивать к инновациям и обновлениям. И каждый хозяйствующий субъект принимает решение о применении проектных методов управления, руководствуясь соображениями экономической выгоды и стратегическими целями.

У аграрного сектора существует ряд специфических особенностей:

1) существующая ведомственная разобщенность субъектов интеграции в единой технологической цепи: «строительство сельскохозяйственного предприятия – производство сельскохозяйственной продукции – переработка – сбыт»;

2) высокая степень влияния государства по управлению агропромышленным комплексом;

3) наличие значительных долговых обязательств, низкая платежная дисциплина заказчиков, невыполнение договорных обязательств, рост просроченной дебиторской задолженности заказчиков за выполненные строительно-монтажные работы и, как следствие, недостаток оборотных средств строительных организаций;

4) слабая подготовка руководителей по управлению хозяйством (основная масса руководителей технологи, а не экономисты или менеджеры);

5) наличие проблем налогообложения и консолидированного учета в кооперативно-интеграционных формированиях, что снижает эффективность управления;

6) правовые ограничения по участию банков и государственных предприятий в деятельности хозяйственных обществ и холдингов и невозможностью инвестирования ими собственных средств в окупаемые проекты [4];

7) низкая обеспеченность компьютерной техникой и практически отсутствием доступа к информационным ресурсам, в том числе к Интернету сельских территорий;

8) отток квалифицированных кадров из села.

Не лучшим образом на эффективность управления отраслью сказывается кадровая политика, проводимая в АПК. Сегодня сформировалась нездоровая практика подбора и расстановки кадров на местах (прежде всего руководителей сельхозорганизаций), целью которой является получение сиюминутной отдачи в хозяйственной деятельности от того или иного

управленца. Но получить в сельском хозяйстве быструю отдачу невозможно, так как в этой сфере ожидаемая отдача достигается при системной, повседневной, многолетней работе каждого специалиста во главе с руководителем [4].

Выводы. В настоящее время необходимо говорить о принятии на вооружение современных методов управления проектами, с целью их адаптации к условиям строительных организаций в сельской местности, поиска приемлемых способов освоения проектных практик, масштабной их пропаганде и внедрении в регионы.

К внедрению системы управления проектами следует подходить как к отдельному проекту, то есть необходимо четко сформулировать его цель и содержание, разработать и утвердить план внедрения и издать соответствующий приказ. Важным и очень сложным этапом является создание определенного стандарта проектного управления в конкретной организации. Это значит, что должна быть разработана и внедрена единая методология управления проектами на этом предприятии, т.е. каждый проект должен проходить одинаковые стадии; должны выпускаться одинаковые документы, которые, в свою очередь, должны базироваться на единой нормативно-справочной информации предприятия и иметь единую систему кодирования данных. Для реализации целей внедрения системы управления проектами на предприятии должно быть создано подразделение, которое будет разрабатывать методологию и соответствующий стандарт, контролировать их применение, обучать других специалистов предприятия.

Сельхозпредприятия, как заказчиков проектов строительства, необходимо вооружить нормативной документацией по отбору, планированию и прохождению проектов, шаблонами и образцами проектных документов, методиками изменения организационной структуры, изменений в учете, управлении финансами и ресурсами, схемах оплаты труда, системами автоматизации проектной деятельности, обучить технологическим знаниям и навыкам управления проектами.

И тогда подготовленный сельскохозяйственный товаропроизводитель, руководствуясь ответственностью за свой бизнес и своими стратегическими целями, может принять решение о применении предлагаемых методов управления проектами. Выгоды, получаемые от распространения методов управления проектами, безусловно, покроют расходы и выльются в будущее успешное исполнение проектов всех уровней на местах – по срокам, без превышения бюджета, по объему и качеству результатов.

Список источников

1. Петрушкин, В.М., Шанюкевич В.А., Шанюкевич И.В. Формирование системы управления проектами в Республике Беларусь на современном этапе // Проблемы управления. Научно-практический журнал. – 2018. – №2(68). – С. 65–73
2. Ивасенко, А.Г. Управление проектами: учебное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 330 с.
3. Мазур, И. И. Управление инвестиционно-строительными проектами : международный подход. Руководство / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро; под ред. И. И. Мазура. – М.: Авваллон, 2004. – 589 с.
4. Запольский, М.И. Оценка сформировавшейся практики управления в сфере агропромышленного производства и пути повышения его эффективности // Проблемы управления. Научно-практический журнал. – 2017. – №4(66). – С. 57–61.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ТЕАТРАЛЬНЫХ ЛЕБЁДОК В БРЕСТСКОМ ТЕАТРЕ КУКОЛ

Юськович В.И., Шурин А.Б., Шалобьга Н.Н.,
Тимошук В.А., Алехнович С.В.

Введение. Строительство Брестского театра кукол начато в 2011 году, но в силу сложившейся экономической ситуации осуществляется по настоящее время на стадии выполнения процессов отделочного цикла и монтажно-пусконаладочных работ технологического оборудования (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид здания театра кукол в г. Бресте

По конструктивно-планировочным решениям данный объект можно смело отнести к одному из уникальных, отвечающих самым высоким требованиям театрального искусства. За довольно продолжительный период строительства на рынке сценического оборудования появились более совершенные конструкции лебёдок, обеспечивающих изменения декораций сцены и управление игрой кукол, отличающиеся от заложенных в ПСД повышенной надёжностью и меньшим уровнем шума при работе. В этой связи предприятием ООО «БелКульт-Проект» были внесены изменения в технологическую часть проекта и заложены театральные лебёдки нового поколения, высшего качества («с движущимся барабаном и моторным редуктором»), массой до 200, 535 и 890 кг. Масса и габаритные размеры сценических лебёдок изменились в большую сторону. Смонтированное вентиляционное оборудование, расположение воздухозаборных отверстий не позволяло их устанавливать в необходимом количестве на предназначенных для этого технологических балконах на отметке 6,600 м выше относительно пола сцены и четыре единицы оборудования разместили на смотровом балконе на отметке 14,900 м.

Проектом комплектации сцены предусматривалось установить 27 декорационных лебёдок массой 535 кг, 6 софитных лебёдок массой 890 кг на левые и правые балконы, а также 2 вальных лебёдки массой 200 кг на колосниковый настил, опирающийся на нижние пояса стропильных ферм. Помимо значительной массы театральные лебёдки ещё имеют и большие габаритные размеры длиной до 2800, шириной до 600 и высотой до 500 мм. Лебёдки должны устанавливаться в вертикальном положении на опорные стальные балки, уложенные по несущим конструкциям балконов и закрепляться на болтах к опорным элементам и в верхней части к конструкциям стен на распорных анкерах.

Конструктивное исполнение лебёдок не позволяло выполнить их укрупнительную сборку и монтаж на проектных отметках. Поэтому их подъём, установку и закрепление необходимо было выполнить готовыми элементами. Помимо этого, производство монтажных работ затруднялось смонтированными ранее по несущим конструкциям балкона (на отм. 6.600) в стальных трубах шин управления лебёдками. Поэтому подъём лебёдок в проектное положение оказался возможен с поверхности пола сцены и только в собранном виде по сложной траектории, с переносом изделия через ограждение балкона на отметке 6.600.

Технология монтажа декорационных лебёдок. Первоначально выполнялся монтаж декорационных лебёдок, находящихся на отметке 14.900. Для этого устанавливали четыре цепные тали OCA LIFT 1TH 24M 01 (1-ю подъемную, 2-ю подъемно-оттяжечную, 3-ю на отм. 19.200 подъемную с отм. 6.600 на отм. 14.900, 4-ую цепную таль OCA LIFT 1TH 24M 01, которая была необходима для подъема с отм. 6.600 на отм. 14.900 2-ой и 4-ой декорационных лебедок). Для этого 1-ую декорационную лебёдку, устанавливаемую на отм. 14.900 по оси X7, транспортировали и укладывали на защитное покрытие пола в месте ее строповки. Осуществляли строповку декорационной лебёдки. После этого одновременно включали в работу две цепные тали OCA LIFT 1TH 24M 01, одна из которых располагалась по оси X3, вторая по оси X7 в месте верхнего балкона, и производили подъём декорационной лебёдки с плавным ее перемещением из горизонтального положения при строповке в вертикальное на отметку балкона 6.600 (рисунок 2).

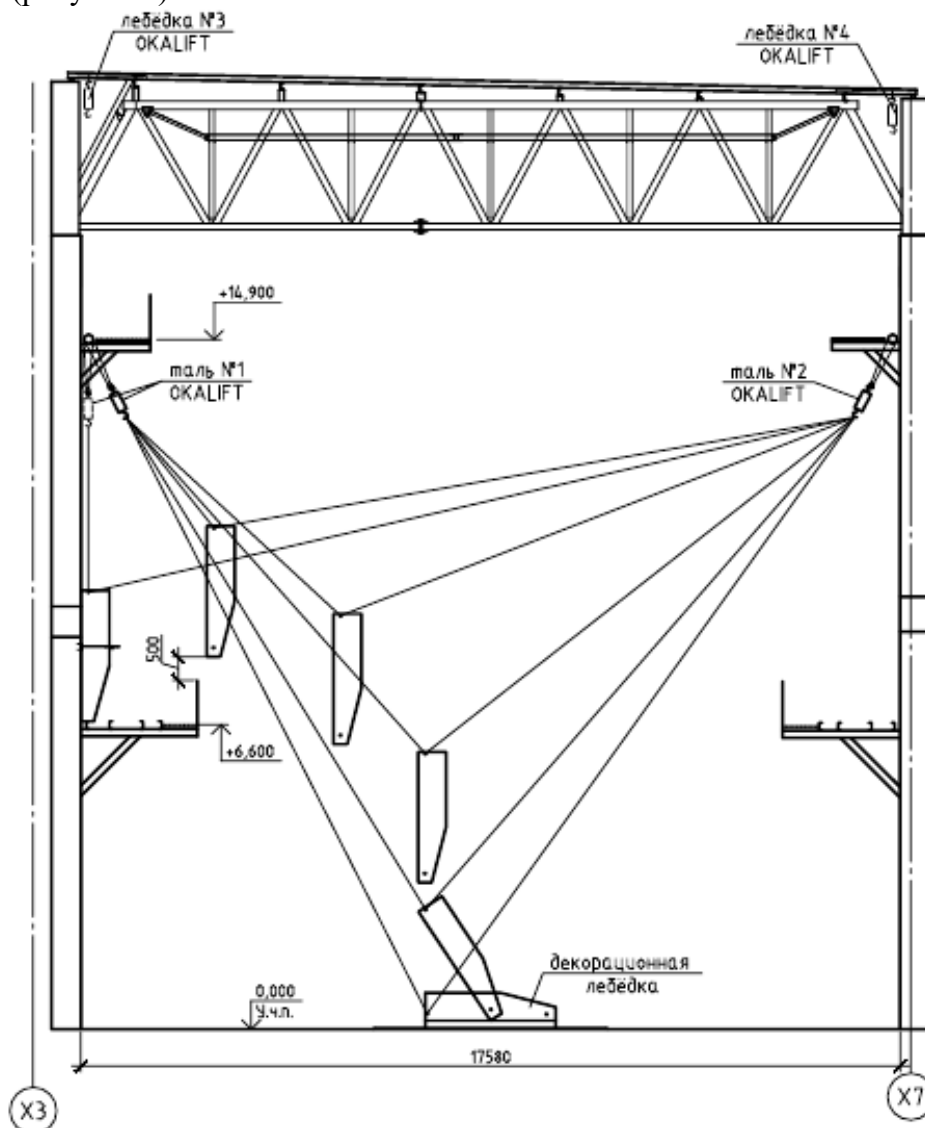


Рисунок 2 – Схема монтажа декорационных лебедок на отметку +6,600

Далее выполняли временное крепление декорационной лебедки и осуществляли перестроповку и перемещение третьей подъемной талью OSCALIFT 1TH 24M 01, расположенной по оси ХЗ на отм. 19.200 с закреплением ее в проектное положение.

После этого производили подъем декорационной лебедки талью с отм. 6.600 на отм. 14.900. После монтажа 1-ой декорационной лебедки на отм. 14.900 выполняли монтаж 2-ой, 3-ей и 4-ой декорационных лебедек на эту же отметку. Для перемещения цепных талей OSCALIFT 1TH 24M 01 вдоль верхнего балкона, расположенных на отм. 14.900 в местах верхнего балкона, использовали ручную таль. Далее осуществляли монтаж театральных лебедек на отм. 6.600. Первой из театральных лебедек на отм. 6.600 выполняли монтаж софитной лебедки номер 5. Для этого осуществляли ее транспортирование к месту строповки на специально изготовленном поддоне. Выполняли строповку софитной лебедки номер 5. После этого одновременно включали в работу две цепные тали OSCALIFT 1TH 24M 01 и производили подъем софитной лебедки с плавным ее перемещением из горизонтального положения при строповке в вертикальное на проектную отметку нижнего балкона 6.600. Крепление софитной лебедки к стене и швеллеру осуществляли в соответствии с проектом, разработанным предприятием ООО «БелКультПроект». Монтаж всех театральных лебедек (декорационных и софитных) на отм. 6.600 осуществлялся аналогично [1, 2].

Далее осуществлялся монтаж вальных лебедек. Для этого сначала производили подъем их с помощью цепной тали OSCALIFT 1TH 24M 01 через проем, расположенный в колосниковом настиле. После подачи вальной лебедки на отм. 17.300 проем в колосниковом настиле закрывали специально изготовленным щитом. Опускали вальную лебедку на щит и далее перемещали ее к месту монтажа по трубам с помощью кантования.

Заключение. Реализация данного технологического решения была осуществлена после обследования технического состояния строительных конструкций балконов, ферм, прогонов и колосникового настила на дополнительные нагрузки от оборудования при его подъеме, и была выполнена также авторами данного технического решения.

Список источников

1. Стаценко, А. С. Технология строительного производства / А.С. Стаценко / Учебное пособие. – 2-е издание. – Ростов н/Д. : Феникс, 2008. – 416 с.
2. Технический кодекс установившейся практики. Безопасность труда в строительстве. Строительное производство: ТКП 45.1.03-44-2006. – Введ. 27.11.06. – Минск : Минстройархитектуры, 2006. – 33 с.

**Совершенствование подготовки
инженерных кадров
для строительной отрасли**

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИХ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Бочарова Н.В., Уласевич В.П.

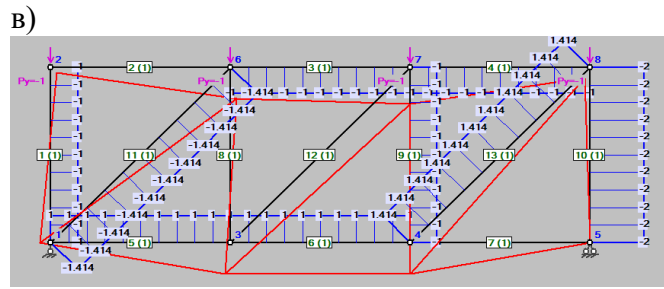
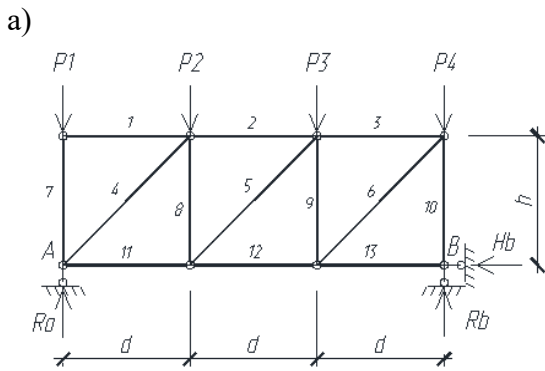
Введение. При подготовке специалиста строительной отрасли по курсу строительной механики ставятся цели и задачи: освоение теоретических основ и прикладных методов расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) сооружений и конструкций, формирование у обучаемых знаний и умений выполнять расчеты сооружений на прочность, жесткость и устойчивость, в том числе с применением компьютерных средств. Поэтому уже сейчас актуально параллельно с получением базовых знаний по строительной механике давать и направление на современные подходы к решению таких задач в программных комплексах, но только как проверка полученного решения. Количество программных комплексов широко известных, мало известных и только появившихся ставит пользователей перед вопросом как быстро, точно и достоверно решить задачу, каким программным инструментом ему воспользоваться.

Алгоритм расчета в программных комплексах

1. Выбор расчетной схемы. Чаще всего пользователь может выбрать вначале тип схемы из предложенных вариантов, для расчета плоских балок и рам тип схемы один, а для расчета пространственной конструкции или любой другой, тип схемы другой.
2. Создание геометрической схемы конструкции. Если проектируемая конструкция имеет простую схему, то её создают с помощью стандартных команд. Для создания сложной расчетной схемы пространственного каркаса или аналитической модели здания используют AutoCAD, САПФИР, Revit или другие.
3. Закрепление опорных узлов (в местах опор ставят связи, ограничивающие перемещения узла в этой плоскости).
4. Выбор требуемых типов жесткости элементов из библиотеки жесткостных характеристик.
5. Необходимо создать несколько загружений, чтобы после расчета определить наиболее неблагоприятное сочетание усилий.
6. Выполнение расчета конструкции возможностями, заложенными внутри комплекса, это чаще всего метод конечных элементов.
7. Анализ результатов расчета.

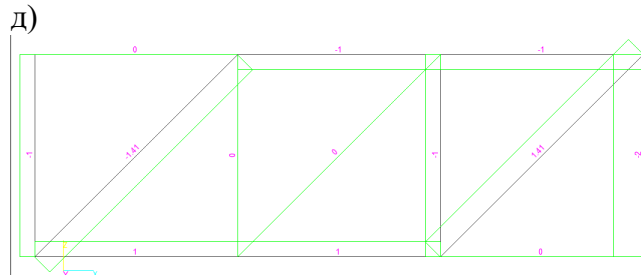
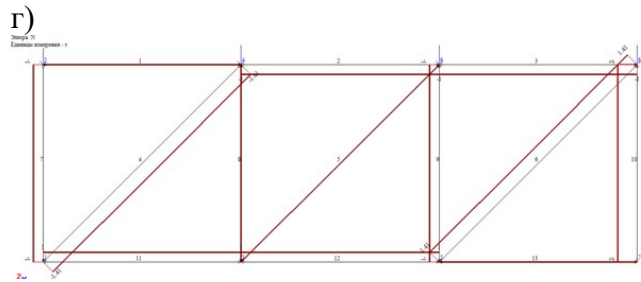
Теперь необходимо оценить результат, но достоверность зависит от того как правильно была представлена расчетная модель и это важный этап в воплощении модели сооружения в реальный объект. Такие решения приводят к тому, что нужно рассмотреть и проанализировать каждую расчетную модель конструкции более подробно.

Расчет статически определимых ферм. По определению фермой называется стержневая система, остающаяся геометрически неизменяемой после условной замены её жестких узлов шарнирными, элементы которой, при действии сосредоточенных нагрузок, приложенных в узлах, работают главным образом на центральное сжатие или растяжение [1]. Рассмотрим для численного анализа ферму с параллельными поясами, нагруженную сосредоточенными вертикальными единичными силами (рис. 1). Как ферма в целом, так и каждый ее узел должны находиться в равновесии (способ вырезания узлов). Для каждого узла можно составить два независимых уравнения равновесия и, используя MathCAD, решить систему уравнений [2]. При формировании расчетной модели узлы должны быть шарнирными, а нагрузка задаваться в виде сосредоточенных сил в верхнем поясе фермы. Расчет ферм следует начинать с анализа геометрической структуры, который состоит из двух шагов: проверки достаточности числа связей и анализе правильности их размещения (структурном анализе фермы). Продольные усилия «N», полученные в программном комплексе LiraSap2013, SCADOffice 21.1, SdCAD [3], а также способом вырезания узлов [1], представлены в виде эпюр (рис. 1). Опорные связи устанавливались в крайних узлах в плоской системе координат ZOX, шарнирно-подвижная опора моделировалась как закрепление узла по оси «Z», а шарнирно-неподвижная по оси «Z» и «X», т.е. ограничивались перемещения этого узла в этой плоскости. Высота и ширина панели фермы (dxh) – 2x2м. Вычисленные значения продольного усилия «N» полностью совпадают, независимо от выбранного программного комплекса и способа решения.



б)

$$\begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \\ -\sqrt{2} \\ 0 \\ \sqrt{2} \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{matrix} & & 0 \\ 0 & & 2 \\ 1 & & 2 \\ 2 & & 0 \\ 3 & & 0 \\ 4 & & -1 \\ 5 & & -1 \\ 6 & & -1.414 \\ 7 & & 0 \\ 8 & & 1.414 \\ 9 & & -1 \\ 10 & & 0 \\ 11 & & -1 \\ 12 & & -2 \\ 13 & & 1 \\ 14 & & 1 \\ 15 & & 0 \end{matrix}$$



а) заданная схема фермы; б) решение системы уравнений, способ вырезания узлов реализован в MathCAD; в) эпюра «N», SdCAD; г) эпюра «N», LiraSaprr2013; д) эпюра «N», SCADOffice 21.1.

Рисунок 1 – К определению продольных усилий статически определимой фермы

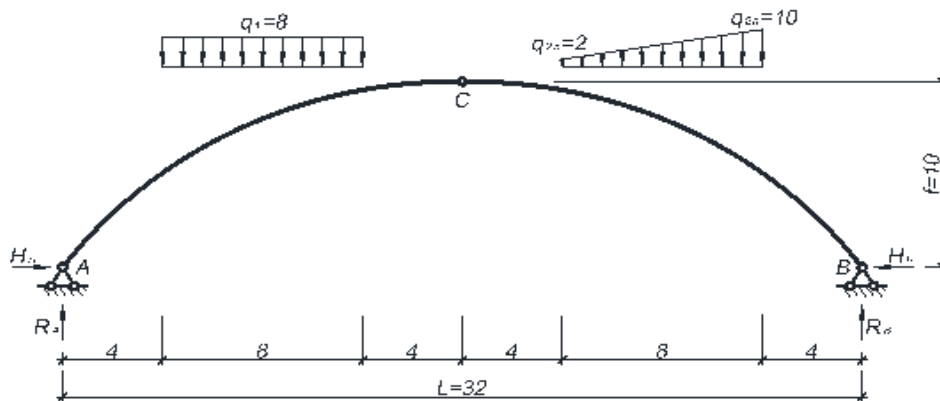
Данный пример задачи иллюстрирует, что программные комплексы выступают только как инструмент для определения усилий, а инженер составляет расчетную модель, оценивает полученные результаты и несет ответственность за разработанную конструкцию. Фермы рассчитываются как плоские шарнирно-стержневые системы только на вертикальную нагрузку, без учета натяжения при монтаже (из-за неточности установки колонн на монтаже, болтами стягивают фермы, создавая растягивающие напряжения еще до загрузки фермы), температурных воздействий, неравномерных деформаций основания и других факторов, которые реально существуют и могут снижать надежность работы ферм.

Расчет статически определимой трехшарнирной арки. Такие арки относятся к распорным системам, в которых при действии нагрузок возникают и горизонтальные составляющие опорных реакций, называемые распором. Рассмотрим расчет арки пролетом $L = 32$ м со стрелой подъема $f = 10$ м, ось которой изменяется по круговому закону (рис. 2) и сравним результаты для величины изгибающего момента, полученные численным способом и с помощью программных комплексов. Для решения численным способом нужно сначала определить опорные реакции арки из уравнений равновесия, потом определить распор H . Усилия в арке определяются методом сечений, разбивая арку на 16 частей, чем больше число расчетных сечений, тем более точно можно будет отобразить эпюры усилий. Величина усилия M , в сечениях арки определяются по формуле:

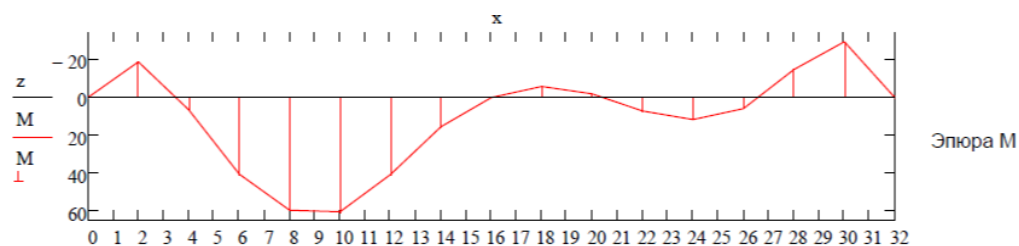
$$M_i = Mo_i - H \cdot y_i, \quad (\text{кН}\cdot\text{м}), \quad (1)$$

где: Mo_i – изгибающий момент в i -ом сечении простой двухопорной балки, имеющей такой же пролет, как арка, и нагруженной такой же нагрузкой, как арка; H – распор арки; y_i – ордината.

а)



б)



а) заданная схема арки; б) эпюра изгибающих моментов, построенная в MathCAD
Рисунок 2 – Решение трехшарнирной арки численным способом, эпюра M

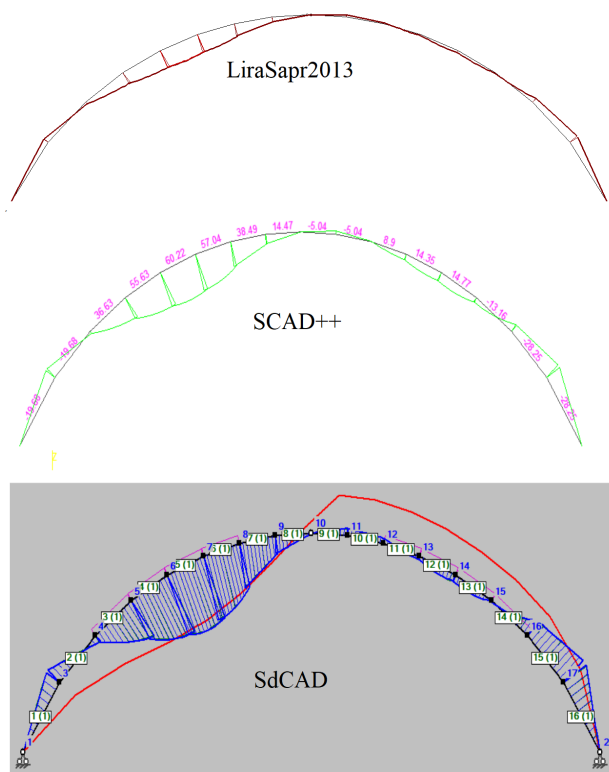


Рисунок 3 – Эпюры изгибающих моментов LiraSapr2013, SCAD Office 21.1, SdCAD

Решим эту задачу тремя расчетными программными комплексами LiraSapr2013, SCAD Office 21.1, SdCAD [3]. Для каждого узла необходимо предварительно вычислить координаты X и Z , с учетом того, что ось арки изменяется по круговому закону. А также нагрузку необходимо проецировать на арку с учетом угла наклона сегмента арки в каждом конкретном сечении, который также вычисляется для каждого нагруженного стержня. Эпюры усилий в арке могут строиться как непосредственно на оси арки, так и на горизонтальной оси, которая в этом случае рассматривается как проекция оси арки на горизонталь. Определяющим фактором является определение перемещений в арочных системах, для трехшарнирных арочных систем выполняется по формуле Мора [3] и зависит от жесткости арки при изгибе, сдвиге и растяжении-сжатии. Модели арочных систем с целью их приближения к реальной конструктивной схеме арок требуют не только учета продольной деформации, но также и учета геометрической нелинейности, проявляющей себя вследствие повышенной ее деформативности.

Значения усилий изгибающих моментов для сравнения представлены в табличной форме. Как видим, из сравнения результатов расчета в LiraSapr2013 результаты максимального значения отличаются на 0,5%, SCAD на 0,3%, SdCAD на 0,6%.

Расчет статически определимых пространственных ферм. Для того, чтобы не было изгиба и кручения в стержнях пространственных ферм, и чтобы сопротивление их приводилось только к растяжению и сжатию, необходимо соблюдение определенных условий: а) внешняя нагрузка должна быть приложена только в узлах фермы; б) отдельные стержни должны иметь в узлах шарнирное соединение, позволяющее им свободно поворачиваться во все стороны; в) стержни должны быть прямолинейные; г) усилия в стержнях должны действовать центрально, т.е. по направлению геометрической оси стержня. Как и для плоских ферм, вначале необходимо выполнить анализ геометрической структуры. Аналогично, как и для плоской фермы, для определения продольных усилий можно использовать способ вырезания узлов (рис. 4). Необходимо вырезать отдельно каждый узел и составить три уравнения равновесия проекций всех сил на оси «X», «Y», «Z», решить полученную систему уравнений.

Таблица 1 – Сравнение результатов в LiraSapr2013, SCAD Office 21.1, SdCAD

| усилие "М", № точки | численный способ | LiraSapr | SCAD | SdCAD |
|---------------------|------------------|----------|--------|--------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | -18.89 | -17.5 | -19.68 | -17.02 |
| 2 | 6.534 | 7.15 | 11.9 | 7.94 |
| 3 | 40.513 | 40.2 | 36.63 | 41.8 |
| 4 | 59.693 | 59.1 | 55.63 | 59.65 |
| 5 | 60.447 | 60.1 | 60.22 | 60.86 |
| 6 | 40.758 | 40.8 | 44.42 | 41.37 |
| 7 | 15.476 | 15.7 | 14.47 | 16.06 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | -5.857 | -6.55 | -5.8 | -6.82 |
| 10 | -1.909 | -3.81 | -0.56 | -4.39 |
| 11 | 7.113 | 3.79 | 8.9 | 2.85 |
| 12 | 11.693 | 7.31 | 14.35 | 5.96 |
| 13 | 5.846 | 1.75 | 14.77 | 0.46 |
| 14 | -14.79 | -16.8 | -13.16 | -17.54 |
| 15 | -29.556 | -29.5 | -28.25 | -29.81 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |

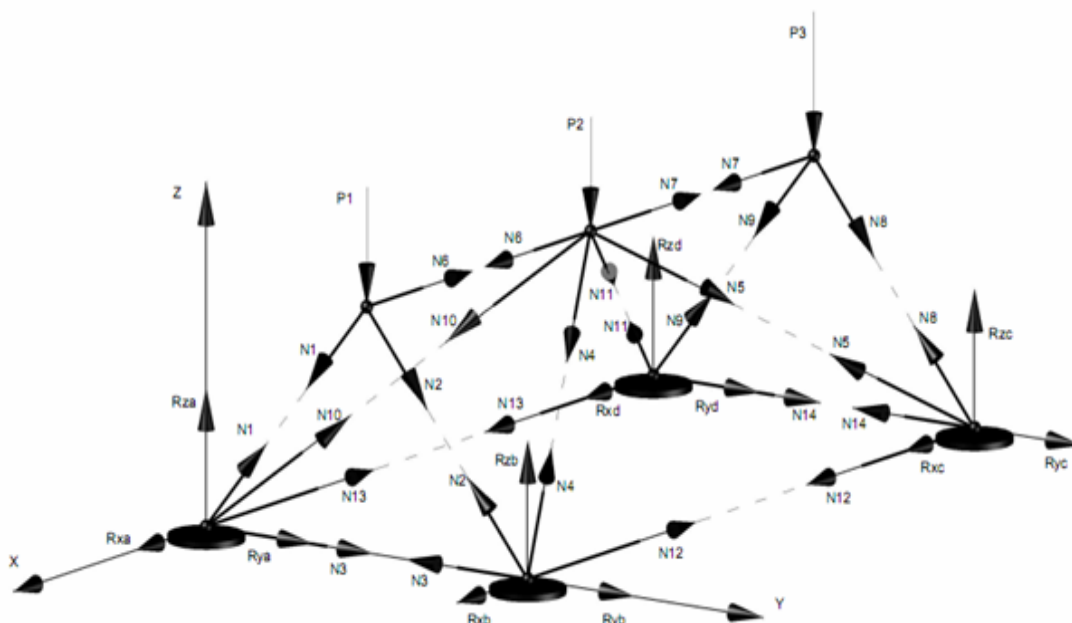
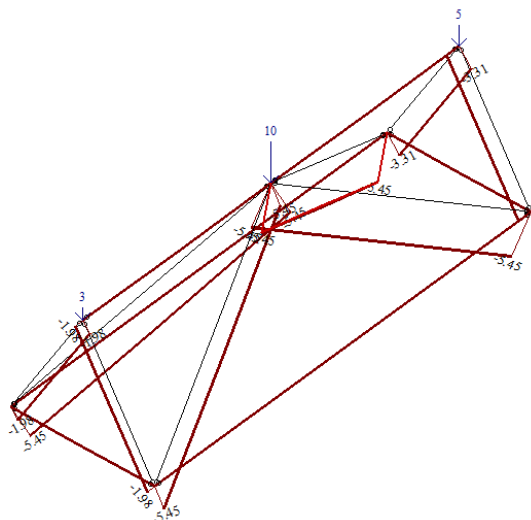


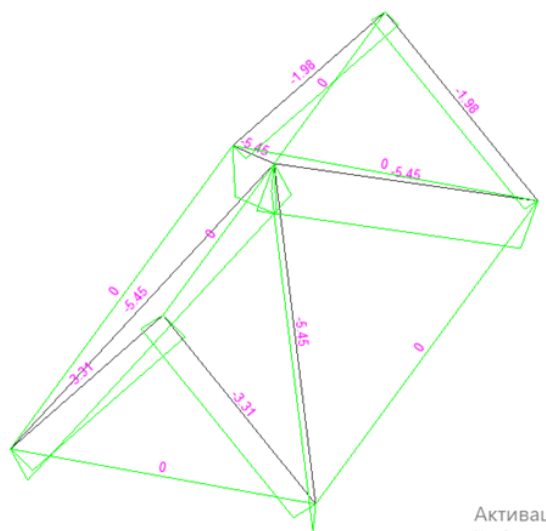
Рисунок 4 – К определению усилий статически определимой пространственной фермы

Решим эту задачу в программных комплексах LiraSapr2013 и SCAD Office 21.1.

а)



б)



а) LiraSapr2013; б) SCAD Office 21.1

Рисунок 5 – Эпюра продольных усилий LiraSapr2013, SCAD Office 21.1

Результаты, полученных усилий полностью совпадают с решением полученным способом вырезания узлов. Определяющим фактором при проектировании будет перемещение узлов такой системы.

Заключение. При решении поставленной инженерной задачи, используя любой программный комплекс нужно не забывать, что это инструмент, упрощающий сложные расчеты, которые при развитии компьютерных технологий выполняются за секунды, а составление расчетной модели должно базироваться на методах расчета строительной механики. Программные комплексы могут быстро и наглядно дать точный результат, а поэтому позволяют выбрать более экономичный вариант. В этом огромное преимущество, но необходимо всегда проверять полученные результаты, ведь маленькая неточность в представлении расчетной модели в программном комплексе – это уже другая задача. Ответственность за ошибки несет непосредственно инженер, который запроектировал конструкцию, а не разработчик программного комплекса. А поскольку современные задачи, которые решаются в программных комплексах, проверить достаточно сложно, поэтому необходимо повышать инженерную подготовку специалистов строительной отрасли в области теории сооружений, где курс строительной механики занимает особое приоритетное место. И тогда будут созданы условия, чтобы инженер-проектировщик мог уверенно решать поставленные задачи.

Список источников

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1986. – 608 с.
2. Игнатюк, В.И. Численные методы решения задач строительной механики : учебное пособие / В.И. Игнатюк, Н.В. Бочарова. – Брест: БрГТУ, 2015. – 100 с.
3. Уласевич, В.П. Алгоритм пользовательского интерфейса к программе расчета гибких стержневых систем SdCAD / В.П. Уласевич, Н.В. Бочарова, О.В. Костюк // Вестник БрГТУ. – 2010.–№5(60): Физика, математика, информатика. – С.107.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Василевский А.В.

В настоящее время реализация инновационных подходов в высшем образовании является главным условием успешности подготовки специалистов и совершенствования всей педагогической работы современных учебных заведений. И важно помнить при этом, что инновационные изменения в учебном процессе не должны сводиться к простому применению некоторого набора отдельных форм и методов обучения; эти инновационные подходы «должны быть системными и охватывать все аспекты учебно-воспитательной работы при подготовке будущих специалистов» [1, 69]. Основой же инновационных процессов, без сомнения, является изменение парадигмы образования: «Инновационная деятельность в образовании обусловлена переходом к гуманистической, личностно-ориентированной педагогической практике. Знаниевая ориентация в образовании уступает место личностно-смысловой, компетентностной; репродуктивные способы усвоения культурного наследия – творческим» [2, 56].

В то же время, не следует воспринимать инновационные подходы в педагогике высшей школы как нечто неподвижное, раз и навсегда данное, «не следует рассматривать инновационную составляющую образовательного процесса как заранее заданный алгоритм инновационной деятельности» [3, 93]. В реализации инновационных методов и форм, таким образом, требуется определённая гибкость, мобильность, позволяющая при необходимости менять формы и подходы прямо в процессе обучения. Конечно, это до известной степени входит в противоречие с распространёнными требованиями чёткой и жёсткой фиксации каждого шага всех субъектов учебного процесса: на данном занятии мы говорим такие-то слова, решаем такие-то задачи, и вся деятельность оказывается расписана на весь период обучения, без возможности оперативного внесения изменений.

Представляется, что данную проблему можно решить только путём коренного изменения подхода к обязательному документационному оформлению педагогического процесса. В частности, вместо закрепления предельно конкретизированных форм учебных ситуаций (подразумеваются не только формы обучения, но и формы диагностики), целесообразно формулирование «целостной концепции с теоретическим и методологическим обоснованием, созданием инновационной дидактической технологии с учётом специфики УВО, структуры специальностей и специализаций» [3, 93]. В результате такого подхода и сам педагогический труд может стать творческим и подлинно инновационным. Тем не менее, даже в настоящих условиях имеются определённые возможности по реализации инновационных подходов при подготовке специалистов инженерного профиля, и, в частности, в области архитектуры и строительства.

Рассмотрим особенности реализации этих подходов в практике обучения студентов инженерно-строительного факультета Полоцкого государственного университета, в частности, на примере ряда дисциплин, непосредственно связанных с освоением информационных технологий. Речь идёт о дисциплинах «Информатика», «Информатика и компьютерное проектирование», «Информационные технологии в управлении недвижимостью» и «Основы автоматизации в строительстве», изучаемые студентами специальностей «Промышленное и гражданское строительство», «Архитектура» и «Экспертиза, управление недвижимостью».

В качестве основы используемых инновационных форм и методов принята культурно-праксиологическая концепция, разработанная доктором педагогических наук профессором И.И. Цыркуном (БГПУ им. М. Танка). Несмотря на то, что указанная концепция формулировалась как предназначенная для инновационной подготовки именно педагогических работников, она с успехом может применяться и для подготовки инженерных кадров, в частности, принцип культурно-праксиологической генерализации и принцип взаимодополнительности априорно-информационного и апостериорно-деятельностного путей интериоризации опыта. «Принцип культурно-праксиологической генерализации определяет морфогенетическую базу инновационной подготовки, её фундамент» [4, 10].

Вкратце сущность культурно-праксиологического подхода, по определению И.И. Цыркуна, «состоит в актуализации духовно-практического аспекта как доминирующего ресурса развития системы педагогического образования». Причём культурная составляющая «обеспечивает преемственность развития системы высшего педагогического образования и предполагает его фундаментальность, отсутствие утилитарных прагматических целей, а также избыточность по отношению к сиюминутным потребностям общества», в то время как праксиологическая компонента «актуализирует аспект рациональной и продуктивной педагогической деятельности» [5, 1].

Обозначим конкретные формы и методы реализации педагогических инновационных подходов, используемые нами:

Применяемые для преподавания дисциплины в целом (априорно-информативное обучение):

1) Формирование информационно насыщенной образовательной среды.

Это предполагает использование студентами в процессе выполнения практических работ, в курсовом и дипломном проектировании, в самостоятельных занятиях и для подготовки к лекционным занятиям специально сформированной и наполняемой медиатеки факультета, а также ресурсов Репозитория ПГУ.

Особенность подбора материалов состоит в том, что помимо обязательной (нормативная литература) и рекомендованной («классические» учебники и справочники) компонент здесь обязательно присутствуют материалы не просто дополнительные, расширяющие тематику изучаемых вопросов, но именно:

- «проблемные», концентрирующие внимание студента на актуальных задачах строительного комплекса, проблемах, стоящих сегодня перед людьми их будущей профессии;

- результаты научных исследований (в том числе научных исследований их собственных коллег – студентов, участвующих в работе студенческой научно-исследовательской лаборатории и студенческих научных кружков);

- научные новости из смежных областей, указывающие на процессы, способные существенно влиять на развитие строительной отрасли.

2) Технология модульного обучения.

Учебный материал дисциплин разбит на модули, причём формирование модулей выполнено таким образом, чтобы у студента, помимо лучшего усвоения содержания модулей, складывалось чёткое представление о структуре всей дисциплины и о межпредметных взаимосвязях. Вследствие этого обеспечивается более качественное овладение материалом, полученные теоретические знания углубляются и обогащаются в процессе выполнения связанных с ними практических работ, разрозненные ранее знания из разных дисциплин соединяются в единую ткань, порождая основу того, что можно назвать настоящим «инженерным мышлением».

3) Использование средств мультимедиа.

Лекционный курс, включающий мультимедийные презентации и видеофайлы, проводится с использованием мультимедийного проектора.

Применяемые на практических и лабораторных занятиях (апостериорно-деятельностное обучение):

1) Технология проблемного обучения.

Учебные задачи формируются таким образом, чтобы они моделировали реальный творческий процесс за счёт создания проблемной ситуации и управления поиском решения проблемы.

2) Интерактивный метод обучения.

В процессе решения практических задач имеет место не только диалог студентов с преподавателем, но и активное взаимодействие студентов между собой, причём активность студентов доминирует.

В этой связи перспективным может стать использование на практических занятиях специальных программных продуктов, таких, как NetSupportSchool, позволяющей не только эффективно контролировать процесс самостоятельного выполнения заданий студентами, вмешиваясь дистанционно лишь в действительно необходимых случаях, но и организовывать совместное обсуждение с демонстрацией всем работающим экранам компьютера одного из студентов, представляющего, например, в данный момент свою точку зрения на обсуждаемый вопрос, или нуждающегося в совете и в помощи всего коллектива. Таким образом, без лишних затрат времени можно использовать такую перспективную технологию, как взаимообучение студентов.

В свете предполагаемого инновационного совершенствования педагогического процесса особую роль приобретает правильный подход к организации управляемой самостоятельной работы студентов. И поэтому организационные механизмы самостоятельной работы «сегодня становятся приоритетнее содержательно-логических, они особенно требуют совершенствования» [6, 1]. В частности, на наш взгляд, одним из значительнейших инновационных методов, предложенных И.И. Цыркуном, касающихся диагностики результатов процесса изучения дисциплин, является бессессионная форма аттестации студентов.

Под бессессионной формой обучения профессор И.И. Цыркун подразумевает «способ организации учебного процесса, существенными особенностями которого являются: 1) усиление индивидуальной и групповой, аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы студентов; 2) максимальное использование активных методов обучения, ставящих студентов в позицию субъектов различных видов деятельности, обогащающих их опытом творчества; 3) непрерывный текущий контроль за продвижением каждого на общем и индивидуальном образовательном маршруте, стимулирующий систематическую работу студента в семестре по предмету» [6, 2].

В нашем опыте работы уже на протяжении нескольких лет практикуется непрерывный текущий контроль за степенью усвоения каждым студентом материалов по дисциплинам, связанным с использованием информационных технологий, и, в частности, трёхмерного графического компьютерного моделирования, систем автоматизации проектирования в строительстве и программных комплексов BIM. Этот подход позволяет без выставления оценок и рейтингов иметь достаточное представление о способностях студентов, о степени овладения компетенциями, о «слабых местах» и проблемах каждого учащегося – что в свою очередь обеспечивает реализацию личностно-ориентированной педагогической практики.

Конечно, приведённой здесь системой форм и методов, базирующихся на вышеназванных концепциях, не исчерпывается потенциал инновационного развития педагогического процесса подготовки инженерных кадров в области архитектуры и строительства. Необходима дальнейшая работа по повышению качества, по разработке и применению новых подходов, и, в качестве основной задачи-максимум, формированию «инновационной культуры преподавателя и студента» [3, 93].

Список источников

1. Трофименко А.С. Инновационные методы обучения в высшем образовании [Электронный ресурс] // Электронный периодический научный журнал «SCI-ARTICLE.RU», 2014 №13 С. 68–79. URL: http://sci-article.ru/number/09_2014.pdf.

2. Дзюбенко С.В. Методологическая культура учителя как условие эффективности инновационной деятельности. // Инновационное образование: теория и практика: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–23 дек. 2011 г. / редкол.: С. А. Аксючиц [и др.]; ГУО «Акад. последиплом. образования». – Минск : АПО, 2011. – 571 с.

3. Тарантей В.П. Инновации в высшем образовании: методологические и теоретические подходы и их практическая реализация // Журн. Белорус. гос. ун-та. Журналистика. Педагогика. 2017. № 2. С. 89–94.

4. Цыркун И.И., Карпович Е.И. Культурно-праксиологическая концепция специальной инновационной подготовки педагога [Электронный ресурс] // Репозиторий БГПУ / ФАКУЛЬТЕТЫ. ИНСТИТУТЫ / Факультет социально-педагогических технологий / Учебные издания факультета социально-педагогических технологий. URL: <http://elib.bspu.by/handle/doc/24848>.

5. Котлобай О.И., Цыркун И.И. Инновационная культура как морфогенетическая основа разработки образовательных систем и технологий. [Электронный ресурс] // Репозиторий БГПУ / ФАКУЛЬТЕТЫ. ИНСТИТУТЫ / Факультет социально-педагогических технологий / Учебные издания факультета социально-педагогических технологий. URL: <http://elib.bspu.by/handle/doc/2729>.

6. Цыркун И.И., Козинец Л.А., Пунчик В.Н. Инновационные формы организации самостоятельной работы студентов. [Электронный ресурс] // Репозиторий БГПУ / ФАКУЛЬТЕТЫ. ИНСТИТУТЫ / Факультет социально-педагогических технологий / Учебные издания факультета социально-педагогических технологий. URL: <http://elib.bspu.by/handle/doc/18679>.

ОБ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН РАСЧЕТНОГО ЦИКЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

Игнатюк В.И., Бочарова Н.В.

Сегодня изучение таких дисциплин, как теоретическая механика, сопротивление материалов, строительная механика, численные методы невозможно без использования современных компьютерных программ. При этом для использования в учебном процессе можно выделить три-четыре вида компьютерных программ, цели и назначение которых различно, и которые нацелены на решение следующих задач в обучающем процессе:

1) учебные компьютерные программы, направленные на совершенствование изучения учебного материала дисциплин, методов расчета [2,3];

2) учебные компьютерные программы расчета конструкций и сооружений, которые в учебном процессе служат для проверки результатов, полученных в процессе решения задач с использованием изучаемых методов расчета;

3) программные комплексы, используемые в расчетно-проектной практике, которые необходимо использовать в учебном процессе для сравнения получаемых результатов и их анализа, ориентируясь на связь с реальным проектированием и производством;

4) МаhtCad-программы, создаваемые самими обучающимися в математической среде «МаhtCad» в помощь себе и своим коллегам.

К первой группе относится целый ряд учебных компьютерных программ, разработанных на кафедре прикладной механики (строительной механики) в Брестском государственном техническом университете, среди которых выделим программы:

- «Arka3» – Статический расчет трехшарнирных арок;
- «Arka2» – Статический расчет двухшарнирных;
- «ArkBes» – Статический расчет бесшарнирных арок;
- «MetSil» – Расчет статически неопределимых рам методом сил;
- «ParUst» – Решение уравнений устойчивости в расчетах рам на устойчивость методом перемещений.

Учебные компьютерные программы должны облегчать трудоемкие вычислительные процессы, уменьшая объем ручных вычислений, при этом не должны потерять сущность и принципы методов расчета. Такие программы должны способствовать изучению методов расчета, познанию их физической сути и физических основ работы сооружений, должны представлять возможности исследования поведения и работы сооружений при изменении их характеристик и параметров, то есть должны представлять обучающе-исследовательскую систему. Главная сложность при составлении таких программ – найти то соотношение двух сторон в задаче, методе расчета, которое позволяло бы, с одной стороны, максимально облегчить математические вычисления, максимально уменьшить объем ручного счета, а с другой стороны, максимально сохранить сущностно-физическую сторону задач и методов расчета. Решение этой проблемы требует глубокого анализа методов расчета, которые при их реализации в учебных программах следует разделить на две части. Одна из них, менее трудоемкая с вычислительной точки зрения, но несущая в себе суть и физические основы метода и способствующая его изучению и познанию, должна выполняться вручную. Вторая, менее информативная, но более трудоемкая часть, должна передаваться компьютерной программе. Следует заметить, что это разделение в разных методах расчета может быть совершенно разным, что зависит от процедур методов, и в одной компьютерной программе расчета на разных его этапах эти части могут взаимно переплетаться друг с другом.

Покажем реализацию этих принципов на примере программы расчета статически неопределимых рам методом сил – программы «MetSil» [3].

Процедура расчета методом сил статически неопределимых рам состоит [1] из этапов:

1. Определение степени статической неопределимости (числа «лишних» связей) рамы L .
 2. Выбор основной системы метода сил (О.С.), то есть статически определимой, геометрически неизменяемой системы, получаемой из статически неопределимой рамы путем отбрасывания лишних связей и замены их неизвестными усилиями X_1, X_2, \dots, X_L , которые являются основными неизвестными метода расчета.

3. Построение в расчетной О.С. метода сил единичных эпюр усилий $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_L$ от действия единичных значений неизвестных метода сил X_1, X_2, \dots, X_L и грузовой эпюры изгибающих моментов M_P от действия внешней нагрузки.

4. Вычисление величин единичных коэффициентов и свободных членов канонических уравнений метода сил по формулам Мора:

$$\delta_{ii} = \sum_1^n \int_0^l \frac{\bar{M}_i^2 dx}{EJ}; \quad \delta_{ik} = \sum_1^n \int_0^l \frac{\bar{M}_i \bar{M}_k dx}{EJ}; \quad \Delta_{iP} = \sum_1^n \int_0^l \frac{\bar{M}_i M_P dx}{EJ}, \quad (1)$$

где: $\bar{M}_i, \bar{M}_k, M_P$ – зависимости изменения изгибающих моментов (их эпюр) в О.С. от действия соответственно единичных значений сил X_i, X_k и внешних нагрузок; EJ – изгибная жесткость стержня (на участке интегрирования), n, l – число участков интегрирования и их длины.

Отметим, что коэффициенты и свободные члены канонических уравнений метода сил по своей сути являются перемещениями.

Вычисление интегралов Мора в выражениях (1) может быть выполнено по формулам Симпсона и трапеций.

Заметим, что если построить суммарную единичную эпюру:

$$\bar{M}_s = \bar{M}_1 + \bar{M}_2 + \dots + \bar{M}_L, \quad (2)$$

то можно вычислить суммы соответственно всех единичных и грузовых перемещений:

$$\delta_{ss} = \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^L \delta_{ik} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{M}_s^2 dx}{EJ}, \quad \Delta_{sP} = \sum_{i=1}^L \Delta_{iP} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{M}_s M_P dx}{EJ}. \quad (3)$$

Эти величины могут быть использованы для проверки правильности вычисления коэффициентов и свободных членов канонических уравнений метода сил (1).

5. Решение системы канонических уравнений метода сил

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \dots + \delta_{1L}X_L + \Delta_{1P} = 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \dots + \delta_{2L}X_L + \Delta_{2P} = 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \dots + \delta_{3L}X_L + \Delta_{3P} = 0; \\ \dots \\ \dots \\ \delta_{L1}X_1 + \delta_{L2}X_2 + \delta_{L3}X_3 + \dots + \delta_{LL}X_L + \Delta_{LP} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

и определение неизвестных метода сил X_i ($i = 1 \dots L$). Система канонических уравнений метода сил (2) является неоднородной системой линейных алгебраических уравнений и может быть решена, например, способом Гаусса.

6. Расчет и построение окончательных эпюр изгибающих моментов в системе – выполняется на основе принципа независимости действия сил по формуле:

$$M = \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2 + \dots + \bar{M}_L X_L + M_P. \quad (5)$$

7. Построение по эпюре M окончательной эпюры поперечных сил Q .

8. Построение по эпюре Q способом вырезания узлов с учетом действующих в узлах внешних нагрузок эпюры продольных сил N .

Алгоритм программы. В рассматриваемой компьютерной программе «MetSil» выполняется следующее разделение указанных процедур метода сил на две части, составляющее алгоритм программы.

Вручную предлагается выполнить этапы 1–3, 7 и 8, которые несут в себе в большей степени физическую суть метода, позволяют более глубоко понять и изучить метод и основные его принципы. Этапы 1–3 позволяют закрепить навыки определения числа лишних связей, выбора рациональных расчетных О.С. метода сил, навыки кинематического анализа систем, построения эпюр внутренних сил в статически определимых системах (в О.С.), показать и закрепить умение вычислять перемещений по формулам Мора (1), для чего необходимо вычислить вручную коэффициенты δ_{SS} и Δ_{SP} (3), являющиеся как проверочными в расчете, так и контрольными в программе.

Программа проверяет правильность вычисления контрольных величин δ_{SS} и Δ_{SP} (с учетом допускаемых погрешностей) и при их верном вычислении выполняет расчет наиболее трудоемких этапов метода сил 4, 5, 6, то есть вычисляет все коэффициенты и свободные члены (единичные и грузовые перемещения (1)) системы уравнений, производит решение системы канонических уравнений метода сил (4) с определением неизвестных метода сил X_1, X_2, \dots, X_L , выполняет расчет и построение окончательной эпюры изгибающих моментов M (5).

Эпюры поперечных и продольных сил Q и N (этапы расчета 7 и 8) студент должен в конце рассчитать и построить опять же самостоятельно (вручную), а также выполнить статическую проверку равновесия рамы.

При неверном вычислении коэффициентов δ_{SS} или Δ_{SP} программа выдает соответствующее сообщение, и требуется произвести их расчет (или одного из них) заново с последующим новым вводом в программу для контроля.

Ввод исходных данных осуществляется в основном окне программы (рисунок 6), в котором показан ввод эпюры M_P для рамы, представленной на рисунке 5, где показана и выбранная расчетная основная система метода сил ($L=6$).

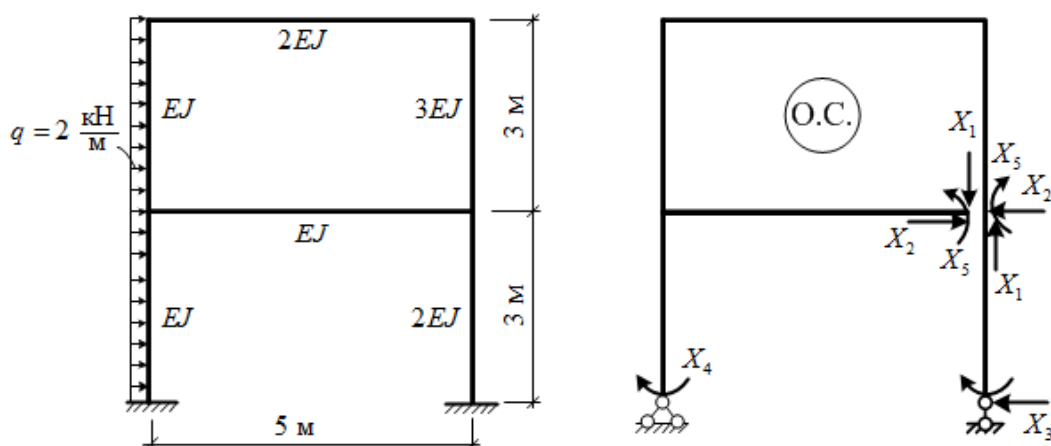


Рисунок 1 – Расчетная схема рамы и основная система метода сил

После ввода исходной информации, включающей координаты узлов, привязку стержней и их жесткостные характеристики, ординаты единичных ($\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_L$) и грузовой (M_P) эпюр изгибающих моментов, программу можно запустить на расчет.

В результате появляется окно ввода контрольных величин (рисунок 2), в котором необходимо ввести проверочные для расчета значения суммарных единичного δ_{SS} и грузового Δ_{SP} перемещений. Эти перемещения необходимо вычислить предварительно вручную.

Если контрольные значения вычислены неверно, то программа выдает соответствующее сообщение, и студент должен выполнить перерасчет контрольных величин.

Если контрольные значения вычислены верно, то программа выполняет полный расчет рамы – вычисляются все единичные коэффициенты (δ_{ik}) и свободные члены (Δ_{iP}) системы канонических уравнений метода сил, решается система канонических уравнений (4), определяются неизвестные метода сил X_i , выполняется расчет всех ординат (5) и графическое построение окончательной эпюры изгибающих моментов M .

Результаты расчета в программе представляются как в табличном, так и в графическом виде – изображается окончательная эпюра изгибающих моментов M (рисунок 3).

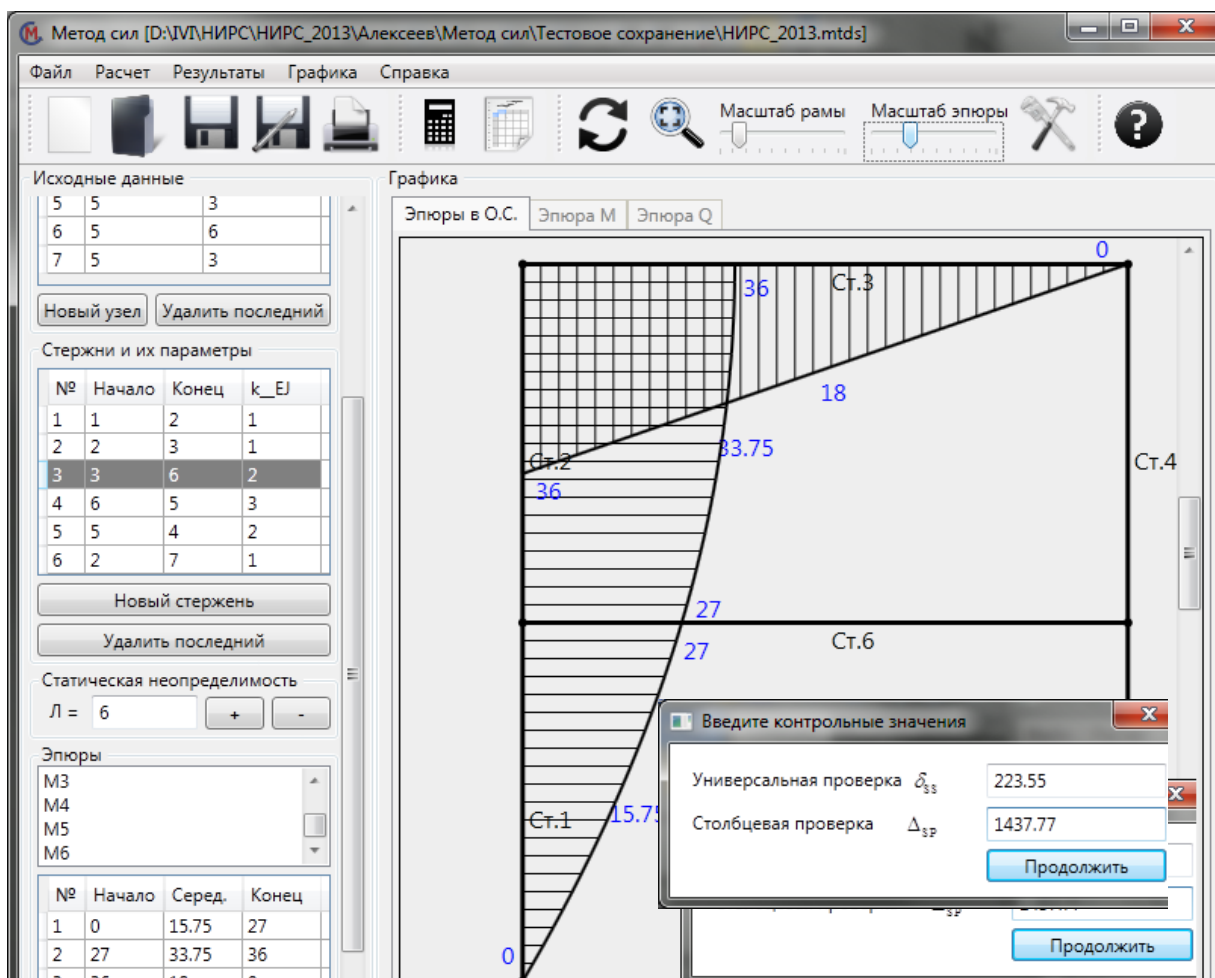


Рисунок 2 – Основное окно программы «MetSil» и окно ввода контрольных величин

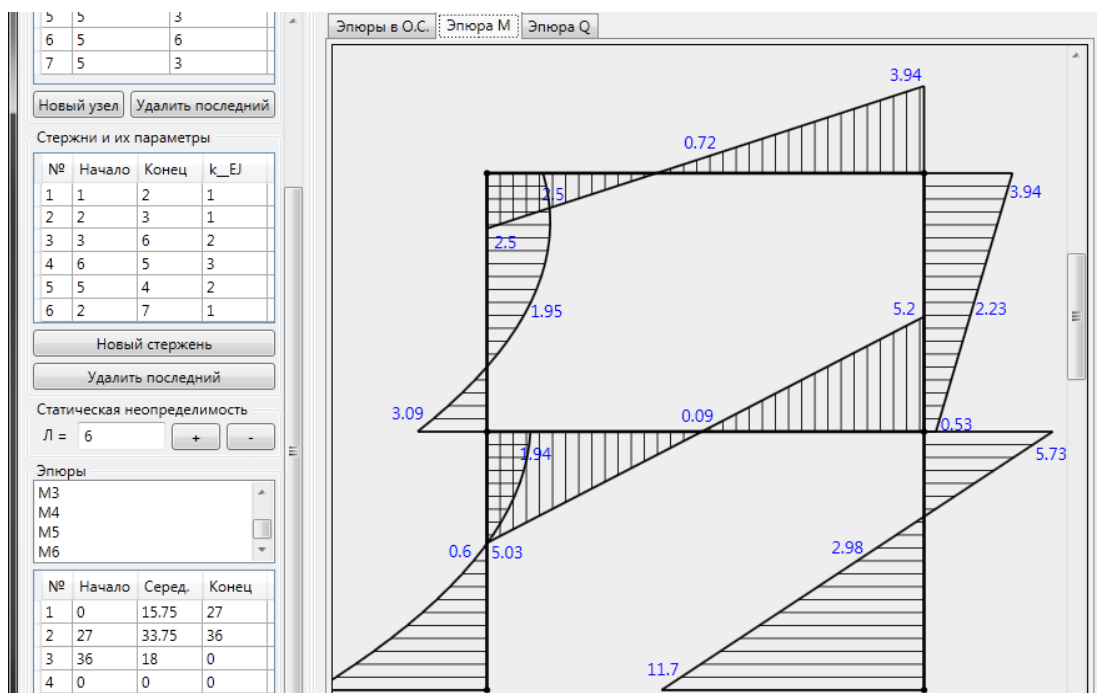
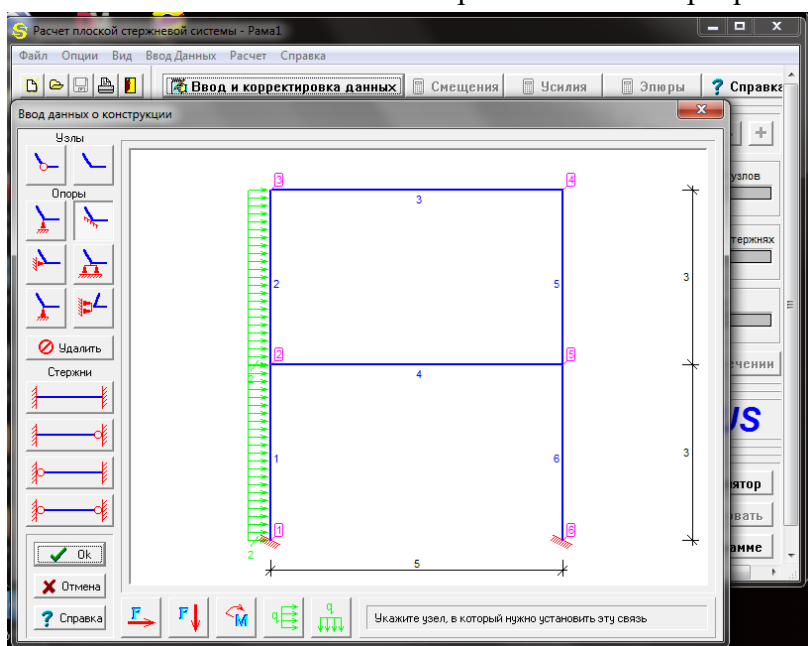


Рисунок 3 – Окончательная эпюра изгибающих моментов

При успешно выполненном расчете программа позволяет выполнять анализ характера зависимостей эпюр изгибающих моментов M и поперечных сил Q в раме и исследовать влияние величин жесткостей стержней на значения усилий в раме при одной и той же нагрузке, что делается уже без контроля. Все это важные моменты для самостоятельной работы студентов.

Второй вид программ – учебные компьютерные программы расчета конструкций и сооружений, которые в учебном процессе служат для проверки получаемых результатов, а также для выполнения исследовательских расчетов по анализу работы и поведения конструкций и сооружений. Эти программы разрабатываются на основе универсальных методов расчета, позволяющих рассчитывать широкий класс конструкций, сооружений. Сегодня это – обычно метод конечных элементов. К таким программам относятся следующие компьютерные программы, разработанные на кафедре:

- «SIRIUS» – Статический расчет плоских стержневых систем;
- «VEGA» – Расчет усилий в плоских стержневых системах при действии статических нагрузок (на базе МКЭ) с учетом упругой податливости узловых соединений;
- «ORION» – Статический расчет пространственных стержневых систем;
- «CrossBeam» – Статический расчет систем перекрестных балок.

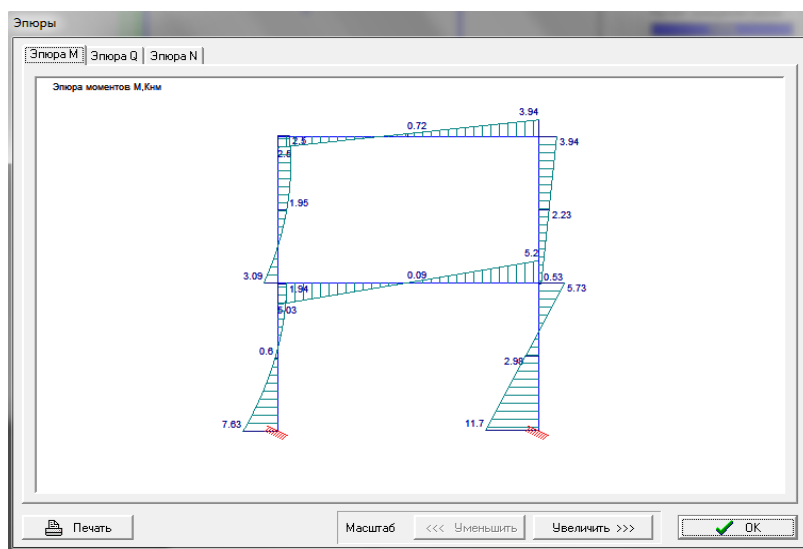


Программа «Sirius», например, предназначена для расчета плоских стержневых систем на статические нагрузки, создана на базе метода конечных элементов. Программа обладает удобным и интуитивным интерфейсом графического ввода исходных данных (рисунок 4), наглядным представлением результатов расчета в табличном и в графическом (рисунок 5) видах.

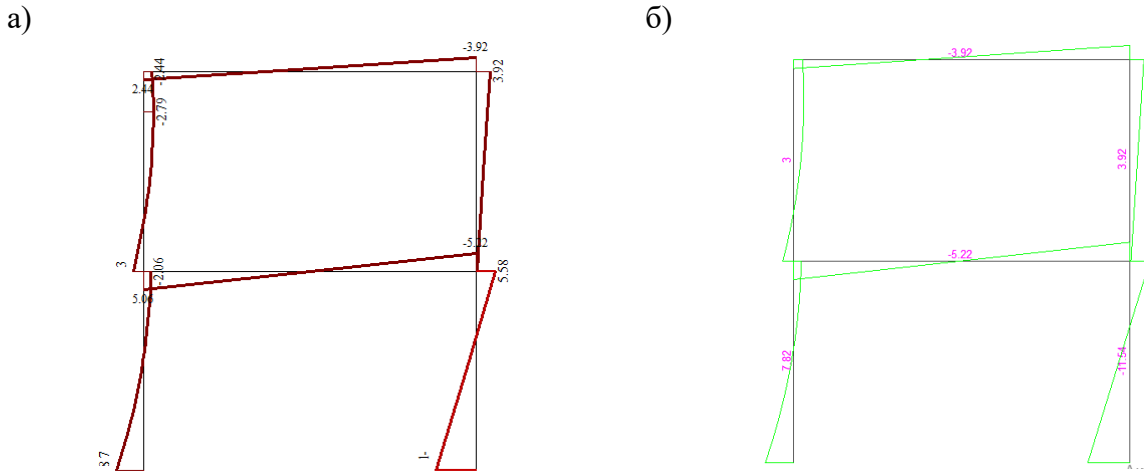
Рисунок 4 – Программа «Sirius». Ввод исходных данных

Рисунок 5 – Программа «Sirius». Результаты расчета

Важным является и использование для проверочных расчетов и анализа получаемых результатов компьютерных программных комплексов, используемых в расчетно-проектной практике. Это позволяет изучить возможности этих программ, особенности формирования расчетных схем при их использовании, приобрести опыт работы в этих программах. в университете используются программные комплексы LiraSap2013, SCAD Office 21.1. могут быть также использованы для ознакомления и проверки полученных решений, но для работы в них необходимо дополнительно.



Результаты расчета рамы, изображенной на рис.1, (эпюры изгибающих моментов) показаны на рисунке 6 .



а) эпюра M, LiraSapr2013; б) эпюра M, SCADOffice 21.1

Рисунок 6 – Эпюры изгибающих моментов в программных комплексах

Стержневые системы при использовании МКЭ разделяются на конечные элементы (КЭ) с различными условиями их закрепления по концам, все КЭ соединяются друг с другом в узлах с соблюдением условий равновесия и неразрывности перемещений. Нагрузка прикладывается в узлах, а внеузловая нагрузка приводится к эквивалентной узловой. Для работы в программно-вычислительных комплексах LiraSapr2013[6] и SCAD [5] нужно предварительно ознакомиться с алгоритмом формирования расчетных моделей конструкций и получения визуализации результатов расчета.

Выполним расчет двухшарнирной арки с затяжкой, представленной на рис. 7. Жесткость арки принята постоянной по длине стержня EJ , жесткость затяжки принята равной: $EA_{зат} = 5EJ$. Ось стержня арки определяется параболической зависимостью:

$$y = \frac{4f}{l^2} x(l-x) = \frac{4 \cdot 4}{12^2} x(12-x) = 0,1111x(12-x) \cdot$$

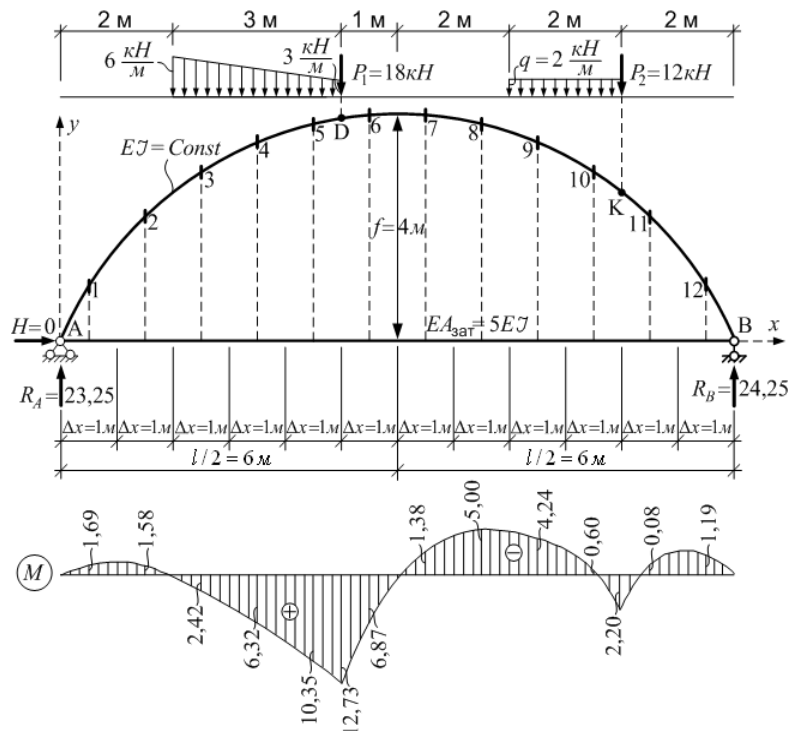
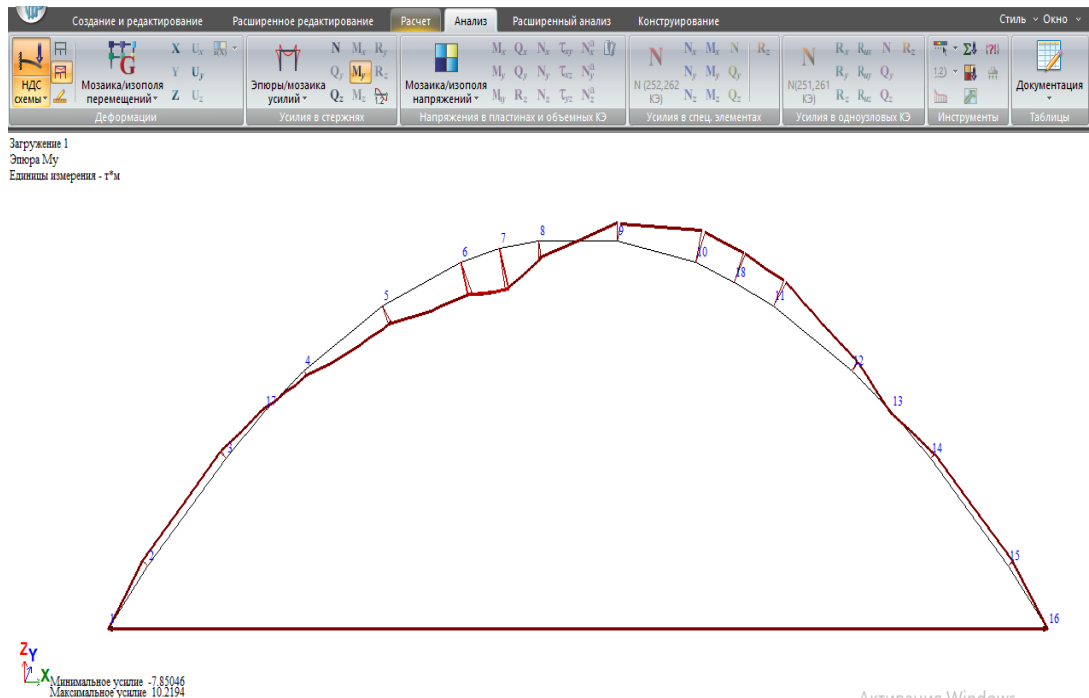
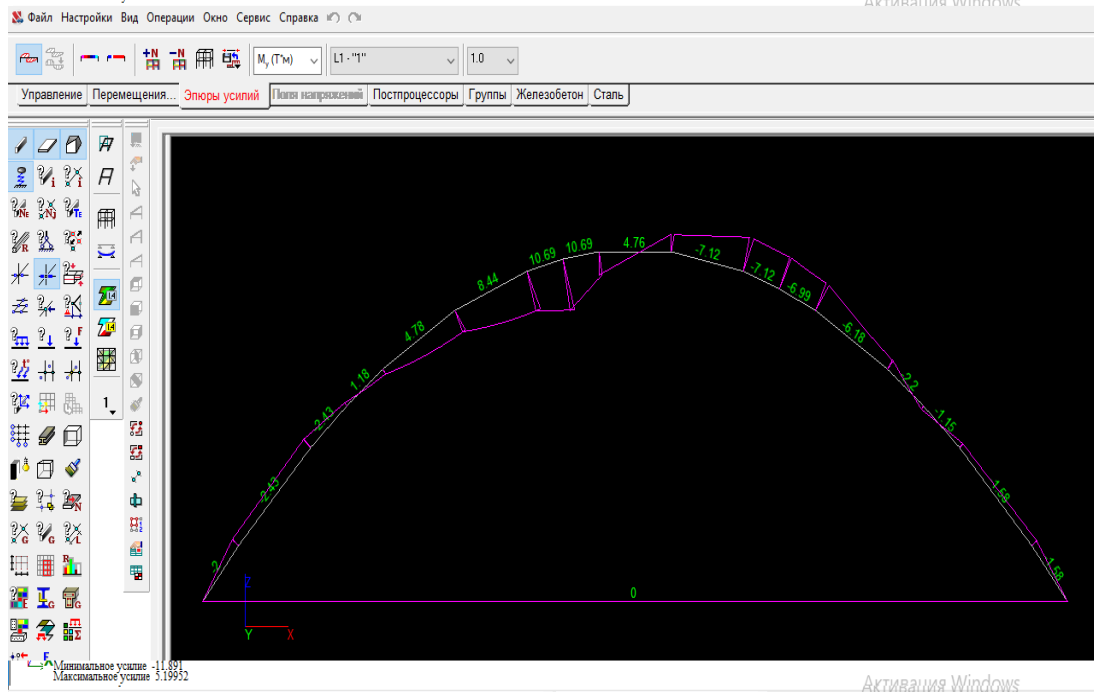


Рисунок 7 – Расчетная схема двухшарнирной арки, эпюра M

а)



б)



а) эпюра M , LiraSapr2013; б) эпюра M , SCADOffice 21.1

Рисунок 8 – К определению усилий двухшарнирной арки в LiraSapr2013, SCAD

Сегодня следует обратить внимание и на математическую среду MahtCad, которая в настоящее время очень сильно развита и имеет большие возможности как выполнения расчетов по различным программам среды, так и предлагает серьезные возможности в программировании, что позволяет решать в MahtCad самые серьезные задачи. Нами разработан, например, MahtCad-аналог программы «Sirius», который позволяет получить все необходимые численные результаты и даже отдельно для каждого из стержней изображать графики эпюр усилий. Такие программы студенты сегодня могут создавать сами и использовать их для решения любых своих задач.

Изложенные принципы создания учебных программ, с нашей точки зрения, создают условия и базу для более глубокого изучения методов расчета и понимания физических основ работы сооружений, способствуют интенсификации и активизации учебного процесса, развитию инженерного и творческого мышления у будущих специалистов.

Список источников

1. Игнатюк, В.И. Строительная механика : пособие по дисциплине «Строительная механика» для студентов и слушателей ИПКиП строительных специальностей / В. И. Игнатюк, И. С. Сыроквашко.– Брест : Изд-во БрГТУ, 2017. – 188 с.
2. Игнатюк, В.И. Создание учебных компьютерных программ для курса строительной механики / В.И. Игнатюк // Высшэйшая школа. – 2001. – № 6. – С. 35–38.
3. Учебная компьютерная программа расчета статически неопределимых рам методом сил // В. И. Игнатюк, Т. Ю. Алексеев // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 5 : Физика, математика, информатика. – С. 47–50.
4. Игнатюк, В.И. Численные методы решения задач строительной механики : учебное пособие / В.И. Игнатюк, Н.В. Бочарова. – Брест: БрГТУ, 2015. – 100 с.
5. Вычислительный комплекс SCAD/ В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, М.А. Микитаренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер. –М: Издательство «СКАД СОФТ». 2013. – 656 с.
6. Водопьянов, Р.Ю., Титок, В.П., Артамонова, А.Е. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015 Руководство пользователя. Обучающие примеры. / Под ред. А.С. Городецкого – М.: Электронное издание, 2015. – 460 с.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Максимович С.В., Булай Т.В., Миклашевич А.П.

На современном уровне развития информационных технологий вопрос о самостоятельной работе студентов становится достаточно актуальным. Одним из способов решения данного вопроса является создание электронных учебно-методических комплексов (ЭУМК).

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) – программный мультимедиа продукт учебного назначения, обеспечивающий непрерывность и полноту дидактического цикла процесса обучения и содержащий организационные и систематизированные теоретические, практические, контролирующие материалы, построенные на принципах интерактивности, информационной открытости, дистанционности и формализованности процедур оценки знаний[1].

Основной задачей внедрения электронных учебно-методических комплексов являются обеспечение доступности, качества и эффективности образовательных процессов. Разработка и внедрение ЭУМК создает условия для активного использования информационно-коммуникационных технологий в системе высшего профессионального образования.

Внедрение электронных учебно-методических комплексов в процесс обучения создает принципиально новые возможности, как для педагогов, так и для студентов. При этом значительно расширяется сектор самостоятельной учебной работы студентов. ЭУМК дает возможность эффективно вести работу в наиболее удобном месте, доступность ресурсов в любое время, возможность обратной связи, своевременного информирования студентов, возможность постоянно обновлять учебный материал, реализация различных методов обучения.

Различают ЭУМК дисциплины, практики, государственного экзамена, курсового проектирования, научно-исследовательской работы студентов. Также может быть создан ЭУМК образовательной программы по определенному направлению, но в таком случае он является составным и должен содержать ЭУМК соответствующей дисциплины, практики, курсового проектирования и т.д.

Содержание учебно-методического комплекса определяется рабочей программой по соответствующей дисциплине.

Электронный учебно-методический комплекс включает в себя материал лекций и практических занятий, темы рефератов, вопросы к экзаменам и зачетам, тестовые задания для самоконтроля, а также методические рекомендации студентам по освоению учебных дисциплин, списки рекомендуемой литературы.

Размещение теоретического материала в форме презентаций развивает предметно-образную память у студентов, увеличивая коэффициент усвоения учебного материала.

Преподавателю имеет возможность удаленного контроля знаний студентов, при оценке которых полностью исключается его субъективное отношение к студенту.

Включение в материал ЭУМК видеороликов, наглядно воспроизводящих реальный эксперимент, способствует наглядности и лучшему усвоению материала. Тесты, размещаемые в ЭУМК, основанные на выборе правильного или неправильного ответа из нескольких представленных, могут использоваться для определения исходного уровня знаний и заключительных тестов после изучения отдельных тем, а также для определения уровня остаточных знаний у студентов по данной дисциплине.

Можно выделить следующие достоинства применения ЭУМК:

1. Возможность использования различных форм представления информации (аудио-, видео-, графической информации, схем, чертежей и т.п.)
2. Интенсификация самостоятельной работы студентов.
3. Возможности для самоконтроля, самооценки обучаемого.
4. Возможность удаленного и объективного контроля знаний студентов.

5. Возможность эффективно вести работу в наиболее удобном месте.
6. Доступность ресурсов в любое время.
7. Своевременное отражение результатов достижений науки, техники и технологий, культуры и производства в сферах, связанных с изучаемой дисциплиной;
8. Использование современных методов, технологий и технических средств в образовательном процессе.

Создание библиотеки электронных методических комплексов направлено на повышение эффективности образовательной и научно-исследовательской деятельности студентов за счет активного использования электронных информационных ресурсов.

Необходимо также отметить, что использование в учебном процессе ЭУМК не предполагает отказа от традиционных форм и методик организации учебного процесса.

Таким образом, при условии взаимодополнения и взаимообогащения традиционных методов и применения ЭУМК в процессе подготовки студентов обеспечивается максимальная эффективность при формировании компетентности будущих специалистов.

Список источников

1. Татаринцев, А. И. Электронный учебно-методический комплекс как компонент информационно-образовательной среды педагогического вуза [Текст] // Теория и практика образования в современном мире: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, февраль 2012 г.). — СПб.: Реноме, 2012. — С. 367-370. — URL <https://moluch.ru/conf/ped/archive/21/1701/> (дата обращения: 09.10.2018).

2. Андреенков, А.А. Использование информационных технологий при изучении технической дисциплины / А.А. Андреенков, А.А. Дементьев // Профессиональное образование в России и за рубежом.- 2015.-№3 (19). С. 115 -119

3. Положение об электронном учебно-методическом комплексе по дисциплине для высших учебных заведений Республики Беларусь Беларусь [Электронный ресурс]. —Минск: РИВШ, 2008.

ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ – ВАЖНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЗАДАЧА

Пойта П.С., Четырбок Н.П., Шалобыта Т.П.

Развитие отечественного инженерного образования и повышение его качества – сложная комплексная проблема, требующая принятия государством политических, законодательных, экономических и организационных мер, совершенствования механизмов частно-государственного партнерства. В наше время, характеризующее стремительным развитием научно-технического прогресса, появлением и расширением новейших отраслей промышленности, к инженерному образованию предъявляются все более высокие требования к его качеству. Высшие учебные заведения призваны обеспечить подготовку кадров высокой квалификации, имеющих глубокие знания и навыки не только по своей специальности, а обладающих широким кругозором, умением ориентироваться в смежных отраслях современного промышленного производства, постоянно работающими над повышением своего профессионального уровня в свете чрезвычайно быстрого развития науки и техники, способных давать объективную оценку и производить отбор и использование полученной информации. Подготовка таких специалистов-инженеров, на наш взгляд, это одно из условий обеспечения качества образования мирового уровня в области техники и технологий, а следовательно, одно из важнейших условий вхождения нашей страны в число ведущих стран мира. Исходя из этого – подготовка инженерных кадров высокого качества – задача государственной важности, относящаяся к сфере национальных стратегических интересов. Сегодня качество подготовки будущих инженеров волнует всех: и государство, и работодателей, и преподавателей вузов и студентов. Это объясняется теми изменениями, которые происходят в окружающем нас мире: глобализация экономики и образования, переход ведущих стран мира на шестой технологический уклад, создание интеллектуальных технологических систем и др. В таких условиях наличие активно действующих высококвалифицированных инженерных кадров имеют огромное, а возможно, и определяющее значение.

При рассмотрении путей повышения качества инженерного образования следует оценивать как внешние так и внутренние факторы [1].

Внешние факторы: мировые и отечественные тенденции в экономике, инженерном деле и инженерном образовании; государственная политика; законодательная база; финансовые ресурсы; восприимчивость бизнеса к инновациям; наличие внятных прогнозов потребности рынка труда в выпускниках; качество подготовки абитуриентов; престиж инженера в обществе и др. Важное значение имеют и внешние факторы, определяемые работодателями: уровень реализуемого на предприятии технологического уклада; наукоёмкость выпускаемой продукции; требования к выпускникам и предлагаемые им условия работы и др. К внутренним факторам относятся: консолидированный бюджет вуза; эффективность использования финансовых ресурсов; кадровая политика в университете; качество профессорско-преподавательского состава; качество образовательных программ и образовательной среды; уровень взаимодействия с научными организациями, предприятиями и бизнесом; эффективность системы качества и системы управления вузом и др.

Естественно, нам не удастся дать детальный анализ влияния каждого из вышеперечисленных факторов на качество подготовки инженерных кадров и выработать однозначное решение, предложение, поэтому ограничимся рассмотрением лишь некоторых внутренних причин в данной статье.

Особую тревогу в нашей стране и в других даже развитых странах вызывает очень низкий уровень заинтересованности молодежи в получении образования в области техники и технологий.

Основные причины в обеспечении высокого качества в подготовке инженерных кадров в области техники и технологий связаны с реальным уровнем финансирования материально-технической базы, востребованностью выпускников вузов с высоким творческим потенциалом предприятиями, мотивацией, в том числе материальной, профессорско-преподавательского состава и студентов. И вполне очевидно, что спрос на таких специалистов растет с повышением технологического уклада экономики.

По данным Национального центра статистики в образовании США [2] в 2014 году лишь 4,93 % выпускников–бакалавров и 5,62 % магистров получили квалификацию инженера. Несмотря на гарантии занятости и весьма значительную зарплату у выпускников-инженеров (55100 долларов в год), которая больше чем у врачей и программистов, интерес к инженерным специальностям небольшой. Это обусловлено сложностью обучения: зачастую не справляющиеся с учебным планом студенты вынуждены переходить на менее перспективные специальности уже при обучении в колледже [3]. Не популярны инженерные специальности в Российской Федерации традиционно уступая экономическим и управленческим специальностям. Так, по результатам приемной комиссии 2012 года пять направлений подготовки бакалавров, (экономика, менеджмент, управление персоналом, бизнес-информатика, государственное и муниципальное управление) выбрали 25,8 % абитуриентов [4-6]. В то же время на 56 направлений подготовки по техническим специальностям поступило 23,5 % абитуриентов. Аналогичная картинка распределения в вузах Польши, Казахстана и др. [5,7].

Указом Президента Республики Беларусь от 11 апреля 2011 года № 136 была утверждена программа социально-экономического развития на 2011-2015 годы, которая определяла одной из главных целей инновационное развитие и повышение конкурентоспособности национальной экономики. С учетом этого, инженерное образование рассматривалось как одна из приоритетных задач, обуславливающая высокую долю абитуриентов, поступающих на инженерные специальности.

Рассмотрим тенденции формирования технических специальностей на примере Брестского государственного технического университета. Контрольные цифры приема на 2017 год показывают, что на бюджет дневной формы обучения соотношение принятых студентов на 1 курс составляет 5,81% на экономические специальности и 94,19% на технические. Практически аналогичная картина по приему в 2018 году. – 5,19 и 94,81% соответственно. В целом, приведенные показатели свидетельствуют о весьма значительном приоритете инженерного образования. Однако, если взять во внимание платную форму обучения, то здесь мы имеем совершенно другую картину. На экономические специальности в 2017 году принято 36,23% и на технические – 63,77% первокурсников. Анализ этих цифр свидетельствует о том, что именно платное обучение является индикатором отношения молодежи к инженерному образованию. Несмотря на относительно большую стоимость обучения, экономические специальности для абитуриентов являются более предпочтительными в сравнении с техническими. Этот факт подтверждает и сравнительно высокий конкурс на экономические специальности – в среднем 3,04 в то время на технические специальности он колеблется от 1,53 (специальности факультета информационных технологий) до 1,11 (специальности факультета инженерных систем и экологии).

Тенденцией вступительных компаний последних лет является и то, что на технические специальности идет молодежь, имеющая в 1,4... 2 раза и даже более низкие баллы, чем на экономические. Уровень школьной подготовки в основном, отличается универсальностью, т.е. не учитывает будущую желаемую школьником профессию. К тому же не могут все выпускники даже одного класса стать абитуриентами инженерных профессий. Решение этой проблемы возможно через обучение школьников в старших классах в лицеях, в том числе и при высших учебных заведениях, а так же в колледжах при вузах. Работа с выпускниками колледжей – это реальный резерв повышения качества подготовки специалистов инженерного профиля. Поэтому одна из актуальных задач нашего общества, системы образования – формирование интереса молодежи получать инженерное образование, определение путей и подходов к обновлению и соответственно содержания образования и технологий обучения экономике XXI века. Здесь следует учитывать временное запаздывание (4-5 лет) подготовки специалиста под технологии, которые будут востребованы экономикой к моменту окончания университета. В инженерном образовании это довольно сложная и затратная задача, поскольку требует постоянного обновления материально-технической базы, не обеспечивающей учебный процесс, обновления знаний профессорско-преподавательского состава, мотивации обучающихся. Как нам кажется, отдельные шаги в этом направлении можно сделать и сейчас за счет оптимизации учебных планов. Однако ни государство, ни бизнес не готовы финансировать эти затраты на достаточном уровне. Реакция высшей школы на вызовы времени, мягко говоря, весьма сдержанная и не соответствует стремительно развивающейся во всем мире инновационному инженерному образованию, направленному не только на получение фундаментальных знаний и умений, но и особых компетенций,

ориентированных на их применение на практике при разработке высокотехнологичной конкурентоспособной техники и технологий. Привлечение одаренной, хорошо подготовленной молодежи для обучения в университете – шаг, не требующий привлечения серьезных финансовых ресурсов и реализуемый в течение одной приемной компании. Но и этот шаг по различным причинам высшая школа сделать не может. Речь идет о выпускниках-отличниках к примеру, имеющих средний балл по окончании школы, лицея 9,0 и выше и медалистах. Практически, на все инженерные специальности, данная категория выпускников поступает по результатам централизованного тестирования. В тоже время в России, Польше, ряде других стран прием в вузы наших выпускников, нашей наиболее подготовленной молодежи, осуществляется, как правило, по результатам собеседования или по заявительному принципу. Возникает вопрос: Зарубежные вузы доверяют нашему среднему образованию, а мы нет? Или наш интерес в поддержке весьма дорогостоящего, широко распространенного, в большинстве своем реализуемого за рамками законности репетиторства? Ведь очевиден тот факт, если исходный материал высокого качества, то и получаемый продукт при соблюдении технологии производства, как правило, уникален, привлекателен для всех. Такой подход позволит изменить тенденцию вступительных компаний последних лет – прием абитуриентов на инженерные специальности с очень низкими баллами. А в условиях глубоких изменений в мировой и национальной экономике, наличия свободного рынка образовательных услуг, стремительного развития информационных технологий, от структур, управляющих образованием, от университетов требуется тщательный прогноз развития инженерного образования, по крайней мере на ближайшие 3-5 лет. Это позволит принимать своевременные решения, обеспечивающие подготовку специалистов, востребованных современным уровнем развития экономики.

Список источников

1. Подлеский, С.А, Масальский Г.Б. Пути повышения качества подготовки инженеров в контексте мировых и отечественных тенденций / журнал Сибирского федерального университета // *Инженерия и технология*. 2013. – с.235-246.
2. Bachelor's, master's, and doctor's degrees conferred by postsecondary institutions, by sex of student and discipline division: 2013-14. [Electronic resource]. – US National center for education statistic – Digest of Education Statistic/ – 2015. – Mode of access: http://nces.ed.gov/programs/digest/d15/tables/dt15_318.30.asp. – Date of access: 29.02.2016.
3. Хуторецкий В.М. Чему стоит учиться? Американский опыт / В.М.Хуторецкий // *Химия и жизнь – 21 век*. – 2013. – №6. – с.13-17.
4. Подлесный, С.А. Обеспечение качества инженерного образования в условиях новой индустриализации России //Сборник докладов Международной научной школы «Инженерное образование для новой индустриализации», 23-28 сентября 2013г. – Казань: КНТУ, 2013. с.187-197.
5. Агрегированные данные о функционировании системы высшего профессионального образования [Электронный ресурс]. – Министерство образования и науки Российской Федерации. – 2012. – Режим доступа: http://минобрнауки.рф/открытые_данные/262/2708/СВОД_ВП01_ВСЕ20_Очная.xls.
6. Высшее образование Республики Беларусь: Информационное и нормативно-методическое обеспечение приема в учреждения высшего образования в 2015 году: справочник // сост.: С.В.Мирошевич [и др.]. – Минск: РИВШ, 2015. – 236с.
7. *Sikolnictwo w wyisie w Polsce/Warsiawa: Ministerstwo nauki i sikolnictwa wyisiego*, 2013. –683.

ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТОВ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Срывкина Л.Г., Кисель Е.И.

Деятельность по управлению проектами зародилась давно, некоторые связывают ее еще со строительством египетских пирамид. Но наиболее активно теория и практика управления проектами стали развиваться со второй половины XX века в связи с разработкой методов сетевого планирования в США. Проектное управление – это новая культура менеджмента. Ее развитие обусловлено возрастающей сложностью проектов, методик и принципов управления, возникающей интеграцией различных отраслей, появлением более эффективных форм взаимодействия. Важным стало соблюдение требований по временным и стоимостным показателям.

С целью систематизации и накопления знаний опыта, формирования методологии проектного управления в 1969 году в США возникла профессиональная ассоциация - Институт управления проектами (Project Management Institute, PMI). Сегодня PMI насчитывает более 500 000 членов, будучи представленным в разных странах через свои локальные отделения (Chapter) и профессиональные сообщества (Communities of Practice), которых образовано более трехсот. Одной из функций PMI является осуществление сертификации специалистов, задействованных в сфере управления проектами по всему миру, по следующим программам [1]:

- Профессионал в управлении проектами (Project Management Professional, PMP) – это своего рода «золотой стандарт» среди сертификатов, который подтверждает, что его обладатель способен управлять проектами в любой области (строительство, информационные технологии, промышленный сектор, фармацевтика, здравоохранение, телекоммуникации и т. д.) практически в любой стране мира. Может управлять и в Беларуси, но организации, реализующей строительный проект, необходимо также привлекать руководителей проекта, аттестованных непосредственно РУП «Белстройцентр»;

- Профессионал в управлении программами (Program Management Professional, PgMP);

- Профессионал в управлении портфелями проектов (Portfolio Management Professional, PfMP);

- Сертифицированный специалист по управлению проектами (Certified Associate in Project Management, CAPM). Данный сертификат подтверждает понимание его обладателем основ, терминологии и процессов результативного управления проектами, и его могут получить студенты, изучившие соответствующий курс в университете, но не имеющие необходимого практического опыта;

- Профессионал PMI в области бизнес-анализа (PMI Professional in Business Analysis, PMI-PBA);

- Сертифицированный специалист-практик PMI по методам Agile (PMI Agile Certified Practitioner, PMI-ACP). Методы Agile включают SCRUM, XP, LEAN и Kanban;

- Профессионал PMI в области управления рисками (PMI Risk Management Professional, PMI-RMP);

- Профессионал PMI в области календарного планирования (PMI Scheduling Professional, PMI-SP).

Подтверждение компетенций выполняется по результатам итоговой аттестации на степень PMP. Экзамен на степень PMP проводится в виде теста из 200 вопросов, содержащих по 4 варианта ответов, из которых необходимо выбрать один правильный вариант. Причем в зачет идут 175 вопросов, остальные 25 – претестовые. Для успешной сдачи теста необходимо правильно ответить на 61 % вопросов. Экзамен длится четыре часа. Содержание экзамена примерно следующее: 13 % вопросов касаются инициации проекта, 24 % - планирования проекта, 31 % - исполнения проекта, 25 % - контроля проекта, 7 % - завершения проекта [1].

При этом часть тестовых вопросов ориентирована на ситуации, то есть на проверку практического опыта решения задач типа: «Разработать план управления содержанием проекта,

основываясь на одобренном содержании проекта и используя методы управления содержанием, чтобы определить, поддерживать и управлять содержанием проекта».

Однако следует обратить внимание, что теоретические знания и умение решать ситуационные задачи являются только частью требований к кандидату. Предварительно кандидаты должны отправить в PMI заявку, где в числе прочего следует подтвердить наличие опыта управления проектами:

- 36 календарных месяцев за 6 лет до подачи заявки, в течение которых непосредственно управлять проектами следует не менее 4500 часов, – для лиц, имеющих высшее образование;

- 60 календарных месяцев за 8 лет до подачи заявки, в течение которых на непосредственное управление проектами должно быть потрачено не менее 7500 часов, - для лиц, не имеющих высшего образования.

Помимо этого, необходимо набрать 35 contacthours, то есть 35 часов очного обучения управлению проектами. В качестве таковых могут учитываться любые он-лайн или оф-лайн курсы любой давности, не обязательно проводимые зарегистрированным провайдером PMI: образовательные программы университетов, курсы дистанционного обучения и т. п.

Хотелось бы обратить внимание, что школа управления проектами в строительстве начала формироваться и на территории бывшего СССР. К элементам теории управления проектами можно отнести: развитие поточной организации работ, в первую очередь, при реализации проектов жилищного строительства, применение диаграмм Г. Гантта и циклограмм М. Будникова в качестве инструментов планирования и контроля, внедрение с 1960-х годов сетевых методов планирования и управления (СПУ), которые к 1975 году применялись на 17-18 % строек страны. В конце 1990 года в СССР создана Советская ассоциация управления проектами (СОВНЕТ) как часть Международной ассоциации проектного менеджмента (IPMA) [2].

Сегодня в России действуют два отделения PMI – Московское (с 1998 года) и Санкт-Петербургское (с 2016 года); отделение в Украине – Киевское – работает с 2004 года, в Литве – Литовское - с 2012 года.

В Беларуси отделений PMI нет. Внедрение практики управления проектами у нас осуществляется, но особенным образом, без интеграции в международные структуры.

Так, с 2014 года в Республике Беларусь введена должность руководителя проекта в строительстве.

Указом Президента № 26 «О мерах по совершенствованию строительной деятельности» [3] определено, что с 1 апреля 2014 года заказчики, застройщики до начала разработки проектной документации на возведение, реконструкцию, реставрацию объектов строительства, которые в соответствии с СТБ 2331 [4] относятся к первому – четвертому классам сложности, должны назначать *руководителя (управляющего) проекта*. Он определяется из числа работников организации заказчика, имеющих соответствующую квалификацию, либо для этих целей привлекается инженерная организация (инженер). При этом принимаются во внимание планируемые источники и объемы финансирования, предусмотренные в предпроектной (предынвестиционной) документации, а также законодательные требования к порядку осуществления закупок при строительстве.

До 1 января 2015 года имел место переходный период, а затем назначить руководителем проекта стало возможным только работника, имеющего соответствующий квалификационный аттестат. Порядок аттестации определяется Советом Министров Республики Беларусь, а уполномоченной организацией по ее проведению является РУП «Белстройцентр» [5].

К юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, претендующим на получение квалификационных аттестатов по виду деятельности «Оказание инженерных услуг при осуществлении деятельности в области строительства объектов 1 – 4 классов сложности», предъявляются требования в части наличия у них в штате определенного количества аттестованных руководителей проекта: для аттестата 1-й категории – не менее трех специалистов, для аттестата 2-й категории – не менее двух специалистов, для аттестатов 3-й и 4-й категорий – не менее одного аттестованного специалиста.

Критерии допуска к квалификационному экзамену на руководителя проекта в строительстве сформулированы в постановлении Минстройархитектуры № 15 от 26 марта 2014 г. [7]:

- наличие высшего образования по одному из тридцати указанных в постановлении направлений образования или наименований специальностей;

- стаж работы - не менее пяти лет в строительстве по виду профессиональной деятельности на руководящих должностях или не менее десяти лет на инженерных (в том числе из них не менее трех лет на руководящих) должностях. Конкретное содержание профессиональной деятельности руководителя не оговаривается.

Аттестация подразумевает процедуру оценки профессиональной компетенции претендентов в форме квалификационного экзамена, проводимого в виде компьютерного тестирования. Продолжительность экзамена – 60 минут, в течение которых необходимо ответить на 40 тестовых вопросов. Пороговый критерий положительной оценки составляет 85 %. Перечень вопросов для компьютерного тестирования разрабатывается РУП «БЕЛСТРОЙЦЕНТР».

Список специальностей высшего образования достаточно широкий. Он включает помимо чисто «строительных» или «управленческих» также «Автоматизированные электроприводы» (53 01 05), «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» (37 02 04), «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (45 01), «Машины и оборудование лесного хозяйства» (36 05 01), «Металлургию» (36 02, 42 01), «Производство химическое» (48 01), «Технологию деревообрабатывающих производств» (46 01 02) и т. д. Очевидно, это направлено на то, чтобы работники отделов капитального строительства крупных предприятий ведущих отраслей республики имели возможность получить аттестат руководителя проекта в строительстве.

В списке направлений образования и специальностей присутствуют и специальности, подготовка по которым осуществляется в УО «Брестский государственный технический университет»:

- строительство (направление 70, специальности 70 0 01 «Промышленное и гражданское строительство», 70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций», 70 0 02 «Экспертиза и управление недвижимостью», 70 03 01 «Автомобильные дороги», 70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», 70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»);

- архитектура (специальность 69 01 01);

- сельское строительство и обустройство территорий (специальность 74 04 01);

- автоматизация технологических процессов, производств и управления (специальность 53 01 02 «Автоматизированные системы обработки информации»);

- машиностроительное оборудование и технологии (специальности 36 01 01 «Технология машиностроения» и 36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»);

- мелиорация и водное хозяйство (74 05 01)

- экономика и организация производства (специальность 27 01 01 17 «Экономика и организация производства (строительство»);

- экономика и управление на предприятии строительства (25 01 07 13).

Получить знания в области управления проектами в учреждениях образования Республики Беларусь можно следующими способами:

1) освоить учебную программу дисциплины «Управление проектами», «Управление проектами и инжиниринг» и т. п., проходя обучение по специальности I или II ступени высшего образования или в рамках специальности переподготовки. Так, учебный план специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» включает изучение дисциплины «Управление проектами и инжиниринг в строительстве» в объеме 52 учебных часов, в том числе 34 часов аудиторных занятий – 18 часов лекций и 16 часов практических занятий. К сожалению, переход на 4-летнюю подготовку инженеров-строителей привел к сокращению этой дисциплины в учебных планах и, начиная с 2020 года, возможность получения современных основ управления проектами на I ступени высшего образования будет утрачена;

2) пройти переподготовку руководящих работников и специалистов, имеющих высшее образование, по специальности 1-70 06 71 «Управление проектами в строительстве». Образовательный стандарт данной специальности [8] предъявляет следующие требования к уровню основного высшего образования:

- 1-69 01 01 01 «Градостроительство»;

- 1-69 01 01 02 «Архитектура жилых и общественных зданий»;

- 1-69 01 01 03 «Архитектура производственных объектов»;
- 70 «Строительство»;
- 74 04 «Сельскохозяйственное строительство и обустройство территорий»;
- 74 05 «Мелиорация и водное хозяйство».

Формы и сроки получения образования: очная (дневная) – 11 месяцев, очная (вечерняя) – 14 месяцев, заочная – 18 мес.

Учебные программы по всем дисциплинам в соответствии с образовательным стандартом [8] рассчитаны в сумме на 1000 часов: 2,8 % времени – изучение гуманитарных и социально-экономических дисциплин, 26,0 % – общепрофессиональных дисциплин, 67,2 % – изучение дисциплин специальности, 4,0 % – стажировка. Дисциплины специальности включают основы управления проектами, управление интеграцией, содержанием, сроками, стоимостью, человеческими ресурсами, коммуникациями, рисками проекта, управление закупками проекта, а также изучение международных контрактов. В целом дисциплины специальности максимально приближены по своему содержанию к издаваемому PMI Руководству к Своду знаний по управлению проектами (PMBOKGuide) [9].

Переподготовку по указанной специальности осуществляют в Филиале БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала БНТУ» и в Институте повышения квалификации и переподготовки кадров УО «Брестский государственный технический университет».

В Бресте с 2015 года осуществляется переподготовка в заочной форме. На текущий момент переподготовку прошли две группы слушателей (около 20 человек), в основном работники управлений капитального строительства (УКСов) исполкомов, инженеры по техническому надзору, руководители строительных и проектных организаций;

3) пройти обучение на курсах повышения квалификации. Это могут быть курсы, на которых обучение осуществляется по программам, согласованным с РУП «Белстройцентр». В частности, повышение квалификации руководителей и специалистов строительной отрасли по таким программам проводят следующие учреждения образования:

- Филиал БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала БНТУ»;

- ГУО «Центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов «Белдорстрой», г. Минск;

- Институт повышения квалификации и переподготовки кадров УО «Брестский государственный технический университет»;

- Частное учреждение дополнительного образования взрослых «Центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов Брестской инженерной группы»;

- ЧУО «Центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов «Стройэффективность», г. Гомель.

Учебные программы рассчитаны на двухнедельное обучение в объеме 80 часов аудиторных занятий. По требованию РУП «Белстройцентр» они обязательно в числе прочего должны предусматривать изучение положений PMBOKGuide [9], СТБ ISO 21500-2015 «Руководство по менеджменту проекта» [10], освоение программного комплекса по управлению проектами типа MSProject, Primavera и др.

РУП «Белстройцентр» разрабатывает также перечни вопросов к аттестационному экзамену. Но, к сожалению, в них не включены темы, рассматриваемые в PMBOKGuide и СТБ ISO 21500-2015. Аттестационные вопросы сосредоточены исключительно на нормативно-законодательной базе Республики Беларусь и носят теоретический характер. Рассмотрение ситуаций или решение задач не предусматривается.

В Беларуси также реализуются образовательные программы PMI в Учреждении дополнительного образования «Институт ИТ и Бизнес-Администрирования». Это единственная в республике организация, которая имеет право принимать сертификационный экзамен по программе PMP. Институт проводит курсы по следующим программам PMI: EP51 «Управление людьми и лидерство в проектной команде», EP54 «Управление рисками проекта», PM61 «Основы управления проектами в соответствии с PMBOK» и PM62 «Подготовка к сертификационному экзамену PMP на основе стандарта ANSIPMIPMBOKv.6» [11].

Вывод: несмотря на большую актуальность в целом для народного хозяйства Республики Беларусь и в частности для строительной отрасли, подготовка руководителей проектов в строительстве имеет достаточно противоречий и не в полной мере учитывает результаты мировой практики. Специалисты по данному направлению должны преследовать в своей деятельности следующие важные цели:

- обеспечить эффективную работу по освоению иностранных инвестиций;
- повысить экспортный потенциал строительной отрасли;
- обеспечить четкое выполнение сроков, качества строительства и бюджета проекта;
- способствовать росту потенциала отечественных строительных организаций.

Достижение этих целей возможно при условии расширения требований к компетенциям руководителей проектов в соответствии с PMCDF [12] (расширение к своду знаний PMBOK).

Список источников

1. ProjectManagementInstitute [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pmi.org>. – Дата доступа: 20.07.2018.
2. Заренков, В. А. Управление проектами / В. А. Заренков. – 3-е изд. – Москва : Изд-во АСВ; Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2008. – 312 с.
3. О мерах по совершенствованию строительной деятельности [Электронный ресурс] : Указ Президента Республики Беларусь, 14 янв. 2014 г., № 26 : в ред. Указа от 26.12.2017 г. // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
4. Здания и сооружения. Классификация. Основные положения: СТБ 2331-2014. – Введ. 01.04.2014. – Мн. : Минстройархитектуры, 2014. – 7 с.
5. О некоторых вопросах аттестации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, руководителей, специалистов организаций и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих деятельность в области строительства [Электронный ресурс] : пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 21 марта 2014 г., № 252 : в ред. пост. от 23.02.2018 г. // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
6. О некоторых вопросах аттестации юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, осуществляющих отдельные виды архитектурной, градостроительной, строительной деятельности (их составляющих), выполнение работ по обследованию зданий и сооружений : пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2 мая 2014 г., № 25 : в ред. пост. от 23.05.2018 г. // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
7. О некоторых вопросах аттестации руководителей, специалистов организаций и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих деятельность в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, выполнение работ по обследованию зданий и сооружений [Электронный ресурс] : пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 26 марта 2014 г., № 15 : в ред. пост. от 23.03.2018 г. // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
8. Образовательный стандарт Республики Беларусь. Переподготовка руководящих работников и специалистов, имеющих высшее образование. Специальность: 1-70 06 71 Управление проектами в строительстве : ОСРБ 1-70 06 71-2013. – Минск, 19 с.
9. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), Sixth Edition, 2017.
10. Руководство по менеджменту проекта : СТБ ISO 21500-2015. – Введ. 01.03.2016. – Минск : Госстандарт.
11. Institute of IT&Business Administration [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.instituteiba.by>. – Дата доступа: 01.10.2018.
12. Project Management Competency Development Framework (PMCDF) - Модель развития компетенций менеджера проекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pmi.org>. – Дата доступа: 28.09.2018.

О СИСТЕМЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ

Турищев Л.С.

Введение. Современный рынок труда оценивает профессиональную подготовку инженеров-строителей не в терминах знания-умения-навыки, а через понятие компетентность. Согласно СТБ ИСО 9001-2015 компетентность – это выраженная способность применять свои знания. Поэтому такая оценка специалистов на рынке труда предполагает, что при обучении студентов необходимо формировать практико-ориентированные знания и умения, дающие им возможность после окончания вуза успешно решать разнообразные профессиональные задачи, связанные со строительной отраслью.

Эффективное решение такой задачи при обучении студентов возможно на основе «деятельностного» подхода, описанного в работе Г. А. Атанова [1]. Согласно такому подходу при определении содержания обучения первична деятельность, а не знания. Анализ деятельности и позволяет определить те знания, которые образуют основу будущей профессиональной компетентности и которым, следовательно, нужно учить студентов.

Сущность деятельностного подхода в обучении можно выразить тремя положениями:

- конечной целью обучения является формирование способа действий;
- способ действий должен быть сформирован в результате организованной учебной деятельности;
- механизмом обучения является не передача знания, а управление учебной деятельностью.

Согласно В.П. Беспалько [2], студенты при обучении могут осуществлять следующие виды учебной деятельности – репродуктивную и продуктивную, каждая из которых включает два уровня. В первом случае от студента требуется уметь осуществлять:

- деятельность с подсказкой, включающую цель, описание стандартной ситуации и алгоритм действий студента;
- деятельность по памяти, включающую цель, описание стандартной ситуации, но требующую самостоятельных алгоритмических действий студента.

Во втором случае от студента требуется уметь осуществлять:

- деятельность в нестандартной ситуации, включающую цель и описание ситуации, но требующую самостоятельных эвристических действий студента.
- исследовательскую деятельность, включающую описание цели в общем виде, требующую самостоятельной конкретизации ситуации и самостоятельного определения программы действий, ведущих к достижению цели.

Основная часть. Базовой компонентой строительного образования студентов является проектно-конструкторская деятельность. Фундаментальная роль в этой компоненте образования студентов принадлежит её прочностной составляющей (прочностной подготовке), так как от этого, в первую очередь, зависит надёжность и материалоёмкость проектируемого строительного объекта. Образно говоря, эта составляющая является основанием для фундамента всего здания проектно-конструкторской деятельности будущего инженера-строителя. Поэтому, согласно образовательному стандарту [3], он должен обладать следующими профессиональными компетенциями, связанными с проектно-конструкторской деятельностью:

- в составе группы специалистов или самостоятельно проектировать конструктивные схемы зданий и сооружений различного функционального назначения;
- выполнять расчеты и конструирование строительных конструкций с использованием методов автоматизированного проектирования.

Прочностная подготовка студентов специальности 1- 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» базируется на изучении ряда физико-математических дисциплин, связанных с механической формой движения и её частного случая – равновесия абсолютно твёрдых и деформируемых твёрдых тел. Системообразующей дисциплиной этого ряда является строительная механика.

В основе использования деятельностного подхода при изучении строительной механики лежит углубление профессионального и фундаментального аспектов её содержания на основе межпредметных связей с дисциплинами учебного плана строительной специальности. В их числе:

- дисциплины специального цикла – архитектура, металлические конструкции, железобетонные и каменные конструкции, конструкции из дерева и пластмасс, проектирование реконструкции зданий и сооружений;

- дисциплины естественнонаучного цикла – математика, физика;
- дисциплины общепрофессионального цикла – информатика, теоретическая механика, сопротивление материалов.

Согласно [4] СРС при изучении строительной механики трактуется как активное и целенаправленное преобразование студентом, получаемой информации на всех этапах обучения, в знания и основанные на них умения выполнять расчеты сооружений на прочность, жесткость и устойчивость, применяемые в проектно-конструкторской деятельности инженера-строителя. Под управлением СРС в широком смысле слова понимается многомерное понятие, включающее в себя следующие составляющие:

- планирование;
- нормирование;
- контролирование;
- обеспечение.

Планирование понимается как определение видов СРС, выполняемых студентом при изучении модулей дисциплины и, в зависимости от изучаемого модуля, может включать в себя следующие её виды:

- подготовка к входному тестированию для проверки базовых знаний и умений по естественнонаучным дисциплинам учебного плана строительной специальности – математика и физика;
- подготовка к входному тестированию для проверки базовых знаний и умений по общепрофессиональным дисциплинам учебного плана строительной специальности – теоретическая механика и сопротивление материалов;
- усвоение базовых принципов, ключевых понятий, гипотез, а также основополагающих формул и уравнений модуля;
- решение типовых задач модуля
- проведение самотестирования для проверки усвоения содержания модуля и умения решать связанные с ним типовые задачи;
- выполнение разделов расчетно-проектировочной работы (РПР), связанных с изучаемым модулем;
- подготовка к семестровому тестированию для проверки успешности изучения модуля.

Нормирование СРС предполагает расчет необходимого времени для каждого её вида и осуществляется согласно рекомендациям типовой программы дисциплины в пределах количества часов, выделяемых на самостоятельную работу при изучении строительной механики согласно учебному плану строительной специальности.

Контролирование успешности СРС включает в себя, согласно учебной программе дисциплины, следующие составляющие:

1. Проведение входного тестирования для проверки базовых знаний и умений по естественнонаучным дисциплинам - математика и физика.
2. Проведение входного тестирования для проверки базовых знаний и умений по общепрофессиональным дисциплинам - теоретическая механика и сопротивление материалов.
3. Проведение контрольных работ для проверки умений решать типовые задачи модулей курса.
4. Проведение защит РПР, выполняемых при изучении курса.
5. Проведение семестровых тестирований для проверки усвоения и понимания базовых принципов, ключевых понятий, гипотез, основополагающих уравнений и формул модулей курса.

Основная цель обеспечения СРС - оказание информационно-методической помощи студентам в организации и проведении такой работы. Эффективными формами такой помощи могут быть специальные пособия к каждому модулю строительной механики и компьютерная поддержка познавательной деятельности студента для любой формы их изучения.

Жесткие требования рынка труда к качеству подготовки и конкурентоспособности инженеро-строителей требуют такой проверки и оценки СРС изучения строительной механики, которая побуждала бы студентов к активной самостоятельной познавательной деятельности. Успех решения данной задачи во многом зависит от соблюдения при организации проверки и оценке СРС следующих дидактических принципов [5]: действенность, систематичность, индивидуальность, дифференцированность, объективность.

Принцип действенности заключается в том, что проверка и оценка результатов СРС должна не только отражать её успехи и неудачи, но и стимулировать студента к усилиям по достижению новых успехов в ней.

Принцип систематичности выражается в том, что проверка и оценка СРС осуществляются не от случая к случаю, а планомерно, в неразрывной связи с процессом изучения всех модулей дисциплины.

Принцип индивидуальности означает, что необходима глубокая и справедливая оценка успехов каждого студента при изучении дисциплины. Принцип индивидуальности проверки и оценки СРС нельзя смешивать с индивидуальным подходом к студенту при изучении дисциплины.

Принцип дифференцированности состоит в том, что цель проверки и оценки СРС заключается не только в установлении знания или незнания вообще, но и в определении количественных и качественных различий в знаниях и умениях студентов.

Принцип объективности предполагает, что при проверке и оценке СРС будут выявлены подлинные знания и умения студента. Практика показывает, что даже выставление отрицательной оценки воспринимается студентом положительно, если она справедливая.

При изучении студентами строительной механики наиболее эффективно указанные дидактические принципы соблюдаются при использовании тестовой методики и рейтинговой системы для проверки и оценки СРС.

Следуя В.П. Беспалько [6], для проверки умений осуществлять репродуктивную учебную деятельность, связанную с модулями курса, используются следующие виды тестовых заданий:

- задания закрытой формы;
- задания на установление соответствия;
- задания на установление правильной последовательности;
- задания открытой формы (типовые профессионально-ориентированные задачи).

Для проверки умений осуществлять продуктивную учебную деятельность используются, прежде всего, нетиповые профессионально-ориентированные задачи курса, решение которых требует самостоятельных эвристических действий студента.

Суть рейтинговой системы оценки СРС заключается в том, что познавательная деятельность студентов по всем ее видам и на всех ее этапах оценивается в баллах. По определенным правилам баллы объединяются в интегральный показатель – рейтинг студента по дисциплине. В рамках действующего в Полоцком государственном университете положения о рейтинговой системе оценки знаний и компетенций студентов оценка СРС при изучении строительной механики складывается из двух компонентов: суммарного результата промежуточного контроля СРС в течение семестра и результата её итогового контроля на экзамене.

Итоговая оценка, отражающая успешность изучения строительной механики в целом определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = k\mathcal{E}_1 + (1 - k)\mathcal{E}_2,$$

где \mathcal{E}_1 - итоговая оценка результатов промежуточного контроля за семестр, \mathcal{E}_2 - оценка, полученная студентом на экзамене, k -весовой коэффициент промежуточного контроля, который, согласно положению, может принимать значения от 0.5 до 0.8. Экзамен по строительной механике проводится по тестовой методике, а экзаменационный тест включает тестовые задания трех уровней.

Успешность изучения строительной механики существенным образом зависит от информационно-методического обеспечения СРС. Большую роль в этом играют специальные пособия, которые на междисциплинарной основе содержат методические рекомендации при изучении учебных дисциплин [7]. С этой целью для студентов строительной специальности в серии «Самостоятельная работа студентов» проводится разработка и издание таких пособий, которые и предназначены для оказания помощи в организации СРС при изучении модулей строительной механики.

В пособиях на основе структурно-логических схем приводятся методические рекомендации по технологии формирования междисциплинарной системы знаний, связанных с базовыми теоретическими положениями, принципами и понятиями строительной механики и соответствующих дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального циклов. Кроме того в них содержатся методические указания по приобретению устойчивых умений и навыков, связанных с практическим применением сформированной системы знаний для решения типовых профессионально-ориентированных задач модуля курса. И, наконец, в таких пособиях имеется банк тестовых заданий для самоконтроля знаний базовых принципов, ключевых понятий, гипотез, исходной терми-

нологии курса и умений выполнять самостоятельно алгоритмические действия при решении типовых задач модуля. Таким образом, пособия позволяют студентам эффективно организовать свою самостоятельную работу на основе трех базовых принципов обучения, сформулированных основоположником дидактики Яном Коменским – понимание, усвоение, применение.

Центральную роль в методических пособиях играют структурно-логические схемы. Такие схемы являются для студентов, образно говоря, своеобразными дорожными картами при изучении строительной механики и они могут быть трех уровней.

Структурно-логическая схема первого уровня позволяет студенту увидеть и понять взаимосвязь строительной механики с естественнонаучными, общепрофессиональными и специальными дисциплинами учебного плана строительной специальности.

Второй уровень структурно-логической схемы позволяет студенту увидеть и понять взаимосвязь разделов строительной механики между собой и с соответствующими разделами и темами обеспечивающих естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин учебного плана.

И, наконец, третий уровень структурно-логических схем позволяет студенту увидеть и понять взаимосвязь ключевых положений, принципов, понятий, а также основополагающих формул и уравнений определенного модуля изучаемой дисциплины.

Структурно-логические схемы первых двух уровней дополняются общими методическими указаниями по изучению курса и его разделов в целом. Структурно-логические схемы третьего уровня сопровождаются развернутыми методическими указаниями, помогающими самостоятельному пониманию и усвоению содержания изучаемого модуля строительной механики.

Важной составляющей, способствующей глубокому пониманию и усвоению ключевых положений, принципов, понятий изучаемых модулей, является включение в пособия приложений, содержащие системную учебную информацию из соответствующих разделов естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин, связанную с содержанием соответствующего модуля строительной механики. Такая информация излагается в соответствии с принципами теории квантования учебных текстов [8], позволяющими представить её разделенной на сравнительно короткие части, удовлетворяющие требованиям ясности, точности, последовательности и доказательности и, следовательно, сделать её понятной для дальнейшего использования.

Известны два вида трудностей, которые испытывают студенты в случае использования учебной информации предыдущих дисциплин учебного плана при изучении его новых дисциплин. Во-первых, студент может иметь представление о такой информации, но не осознавать полностью смысл всего её содержания. И, во-вторых, студенты могут осознавать смысл содержания предыдущей учебной информации, но при этом не уметь в ней самостоятельно выделить, то главное, что связано с новой изучаемой дисциплиной.

Поэтому включение в пособия по организации самостоятельной работы студентов предыдущей учебной информации в соответствии с принципами теории квантования учебных текстов позволяет студенту понять и усвоить базовые теоретические положения, понятиями, принципы, формулы и уравнения изучаемого модуля строительной механики на междисциплинарной основе.

Существенную роль при организации самостоятельной работы студентов играет адекватная самооценка студентами приобретенных ими знаний и умений. Наиболее рационально, по-видимому, они могут это осуществлять с помощью самотестирования. Для его проведения в пособиях содержатся тестовые задания трех уровней:

- тестовые задания первого уровня позволяют проверить понимание и усвоение основных понятий, принципов, терминов изучаемого модуля;
- тестовые задания второго уровня позволяют проверить умение решать типовые профессионально ориентированные задачи изучаемого модуля;
- тестовые задания третьего уровня, позволяют проверить умение решать нетиповые профессионально ориентированные задачи изучаемого модуля.

Особое место в преподавании строительной механики и её информационно-методическом обеспечении играют компьютерные технологии [9]. В настоящее время такие технологии относятся к числу наиболее важных факторов, которые радикально влияют на формирование общества двадцать первого века. Поэтому эффективное использование таких технологий в вузовском образовательном процессе является важным фактором создания современной системы подготовки молодых специалистов, отвечающих требованиям нового века.

Компьютерные технологии, применяемые для управления СРС, основаны на использовании облачного сервиса Classroom платформы GoogleAppsforEducation в домене pdu.by. Использование указанной платформы при преподавании строительной механики осуществляется с 2012 года и

первоначально охватывало заочную форму обучения. Начиная с 2015 года, она используется в качестве среды для организации СРС очной формы обучения и применения в учебном процессе технологии «Смешанное обучение» (Blended Learning) согласно модели «Перевернутый класс (Flipped Classroom)». Суть такого обучения заключается в совместном использовании традиционных методов обучения и современных дистанционных технологий.

Центральное место среди облачных сервисов при управлении СРС отводится сервису Google Classroom, появившемуся сравнительно недавно в 2014 году. Указанный сервис относится к системам управления учебной деятельностью и с ним интегрированы другие сервисы Google Apps for Education: Диск, Документы, Таблицы, Презентации, Формы, YouTube, Gmail, Talk.

Это позволяет загружать в Classroom различные учебные материалы, связанные со строительной механикой, практически в любом формате, обеспечивать к ним доступ студентов в любое удобное для них время и проводить с ними on-line консультации. Прежде всего, здесь размещаются видеоматериалы лекций и практических занятий, различные пособия, включая электронные, для методического обеспечения СРС, задания в электронной форме, связанные с индивидуальным решением типовых задач модуля, а также тестовые задания для компьютерного самотестирования студентов, позволяющие им самим оценивать успешность изучения модулей дисциплины.

Ну, и наконец, использование сервиса Google Classroom позволяет оперативно оценивать успешность изучения студентами строительной механики, проводя с этой целью в семестре несколько компьютерных тестирований в режиме on-line. Тестовые задания создаются на Google Диске с помощью сервиса Формы, а ответы студентов с помощью сервиса Таблицы сохраняются в электронной таблице. Использование дополнительного приложения Flubaroo обеспечивает автоматизированную обработку полученных ответов и получение сводных результатов тестирования в виде таблиц и диаграмм, перечня тестовых заданий, на которые часто даются неправильные ответы, и ряда статистических показателей.

Выводы. Описанная система организация самостоятельной работы при изучении строительной механики способствует развитию познавательной самостоятельности студентов строительной специальности. Развитие познавательной самостоятельности имеет конечную цель – формирование готовности будущего инженера-строителя к активному послевузовскому самообразованию.

Список источников

1. Атанов, Г.А. Возрождение дидактики – залог развития высшей школы / Г.А. Атанов. – Донецк, 2003. – 180 с.
2. Беспалько, В.П. Слагаемые педагогической технологии / В.П. Беспалько. – М., 1989. - 192 с.
3. ОСРБ 1-70 02 01 - 2007. Высшее образование. Первая ступень. Специальность 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство». – Минск, 2007. – 39 с.
4. Турищев Л.С. Организация управляемой самостоятельной работы студентов на кафедре механики Полоцкого государственного университета / Л.С. Турищев // Материалы III Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике; Минск, 12-16 октября 2007. – Минск, 2007. - С.204-207
5. Зиновьев, С.И. Учебный процесс в советской высшей школе / С.И. Зиновьев. – М., 1968. – 337 с.
6. Беспалько, В.П. Элементы теории управления процессом обучения / В.П. Беспалько. – М., 1971. – 132 с.
7. Турищев, Л.С. Совершенствование методического обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы студентов / Л.С. Турищев // Проблемы высшего образования. Материалы международной научно-методической конференции. Хабаровск, 6-8 апреля 2016. – Хабаровск, 2016. - С.155-159
8. Аванесов, В.С. Теория квантования учебных текстов // Современная высшая школа: инновационный аспект. – 2014. - № 1. - С.71-81
9. Турищев, Л.С. Применение компьютерных технологий в преподавании строительной механики / Л.С. Турищев // Инновационные подходы в образовательном процессе высшей школы: национальный и международный аспекты. Электронный сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета. Новополоцк, 8-9 февраля 2018. – Новополоцк, 2018. – С.133-136

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ И ЭЛЕМЕНТОВ СКЕТЧНОУТИНГА В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

Чех Е.В.

Введение. В условиях непрерывного роста объема доступной информации во всех сферах человеческой деятельности возникает объективная потребность в эффективных технологиях и приемах ее представления, анализа и систематизации.

На сегодняшний день проблема визуального мышления студентов привлекает пристальное внимание не только со стороны современной науки, культуры, искусства, но и со стороны развития прогрессивных визуальных технологий, по отношению к которым отмечается повышенный интерес многих исследователей (И.И. Козлов, Д. Роэм, Е.В. Сальникова, Е.Ю. Светлакова и др.). Многие сферы человеческой деятельности в буквальном смысле «визуализируются». Увеличивается количество новых средств визуальной коммуникации, которые достаточно технологичны: кино, видео, мультимедиа, телевидение, интернет. Средства визуализации характеризуются высокой технологической оснащенностью и разнообразием: это чертеж, схема, рисунок, диаграмма, график, пиктограмма, карта, фотография, рекламный ролик, презентация. Утверждается, что быстрое распространение визуальных коммуникаций не проходит бесследно для мировосприятия человека: «Глобальные изменения в мышлении и восприятии действительности активно влияют на усиление в социальном пространстве общества визуальных представлений» [1]. Визуализация, распространенная во многих сферах человеческой жизни, воздействует на мировосприятие, мышление, представления, поведение человека.

Кроме того, будущему инженеру важно уметь зрительно представлять учебную информацию, самостоятельно ее трансформировать в визуальную форму, обеспечивать подачу визуальной информации, доступной для контроля преподавателя.

Таким образом, восприятие, осмысление, преобразование информации и различные способы ее хранения и воспроизводства визуальными средствами в «век визуализации» становятся актуальной проблемой профессиональной подготовки инженеров. Визуальное мышление – это часть профессионального мышления. Оно выступает одним из ведущих факторов в процессе становления личности специалиста.

Основная часть. Многие студенты испытывают трудности в применении визуальных методов преобразования информации в своей учебной, а в дальнейшем и профессиональной деятельности. Это вызвано недостаточным использованием в учебном процессе возможностей для визуализации.

Одним из дидактически оправданных элементов образовательного инструментария, удачно сочетающим педагогические и информационные технологии, являются техники интеллект-карт и скетчноутинга.

Интеллект-карты (майндкарты) – это техника визуализации мышления, передовое наглядное пособие лекционного материала, с возможностью использования его для практических занятий, позволяющее закрепить полученные знания, подготовить фундамент для успешной сдачи экзамена, наглядно демонстрируя логические взаимосвязи различных изучаемых понятий. Интеллект-карты дают возможность активировать восприятие и память, а удобочитаемость карты дает больше доступности и осознанности в мышлении, поэтому они могут быть использованы в самостоятельной жизни после завершения обучения.

В начале 70-х годов прошлого века англичанин Тони Бьюзен, тщательно изучив опыт мышления лучших умов человечества, таких как Леонардо да Винчи, Альберт Эйнштейн, Томас Эдисон, Джеймс Джойс и др., пришел к выводу, что эти гении максимально использовали все ментальные способности своего мозга. Соединив опыт, накопленный лучшими умами человечества с достижениями современной психологии в области памяти и мышления, Бьюзен разработал технологию мышления и запоминания информации, которую он назвал *И* интеллект-карты. При этом начинает активнее работать обычно заторможенное правое полушарие мозга, и становится сильнее интуиция – функция мышления, локализованная именно в этом полушарии. Они помогают представлять идеи и концепции в ясной, привлекательной и убедительной форме, давать целостное видение, способствовать пониманию и генерации идей [4]

Информационная насыщенность современного мира требует специальной подготовки учебного материала перед его предъявлением обучаемым, чтобы в визуально обозримом виде дать студентам основные или необходимые сведения.

Главными достоинствами интеллект-карты является четкая структурированность данных и легкость усвоения и запоминания благодаря наглядности [5].

Интеллект-карты:

- дают быстрый и полный обзор большой темы (сферы, проблемы, предмета);
- позволяют планировать стратегии и делать выбор;
- дают информацию о том, где вы были и куда движетесь;
- собирают и представляют большое количество разнообразных данных на одном листе, демонстрируя связи и расстояния;
- стимулируют воображение и решение проблем посредством разработки новых путей;
- позволяют максимально повысить результативность и эффективность;
- являются превосходным инструментом для раздумывания и запоминания;
- экономят время;
- раскрепощают мышление;
- повышают продуктивность.

Интеллект-карты — это инструмент, позволяющий эффективно структурировать и обрабатывать информацию; мыслить, используя весь свой творческий и интеллектуальный потенциал.

При составлении интеллект-карт используют правила, которые можно детально увидеть на следующем рисунке.



Рисунок 1 – Принципы построения и применения интеллект-карт

При изучении экономических дисциплин в техническом вузе студенты испытывают сложности с пониманием специфической терминологии предмета, обилием терминов, формул, статистических данных.

Студенту необходимо понять информацию, преобразовать ее в доступный самому себе язык, качественно запомнить, научиться анализировать информацию и смело пользоваться ею при необходимости.

тод творческого мышления, применяемый обычно для решения проблем и задач. Заключается он в поиске множества решений одной и той же проблемы, то есть человеку предоставляется свобода творчества во время создания визуальных заметок.

Скетчноутинг – это создание небольших рисунков (скетчей), иллюстрирующих лекцию или презентацию. При этом нет необходимости быть художником – главное, чтобы образ был узнаваем, не уделяется особое внимание цвету и инструменту для рисования. Эта технология позволяет более быстро анализировать и запоминать информацию, делать выводы по изучаемой теме, не только максимально концентрироваться на выступлении, но и оттачивать мастерство переносить услышанную информацию на бумагу, используя иллюстрации [7].

В прошлом учебном году студентка строительного факультета группы Д-19 Кирикович Мария, выпускница детской художественной школы г. Пинска выразила желание попробовать себя в роли скетчноутера. Она проиллюстрировала весь курс «Экономика производства» и на заключительной лекции повторение пройденного материала было закреплено не только вербально, но очень интересно визуально.



Рисунок 3 – Пример иллюстрации к теме «Основные производственные фонды в дорожном строительстве»

Такой подход оказался ценным по многим причинам. Во-первых, те, кто предпочитает технологии визуализации, усваивают материал более эффективно, когда он представлен в виде иллюстраций, фотографий, слайдов или других графических форм. Во-вторых, повышается визуальная грамотность обучающихся. Таким образом, привлечение студентов к созданию образа, помогает им поднять визуальную культуру.

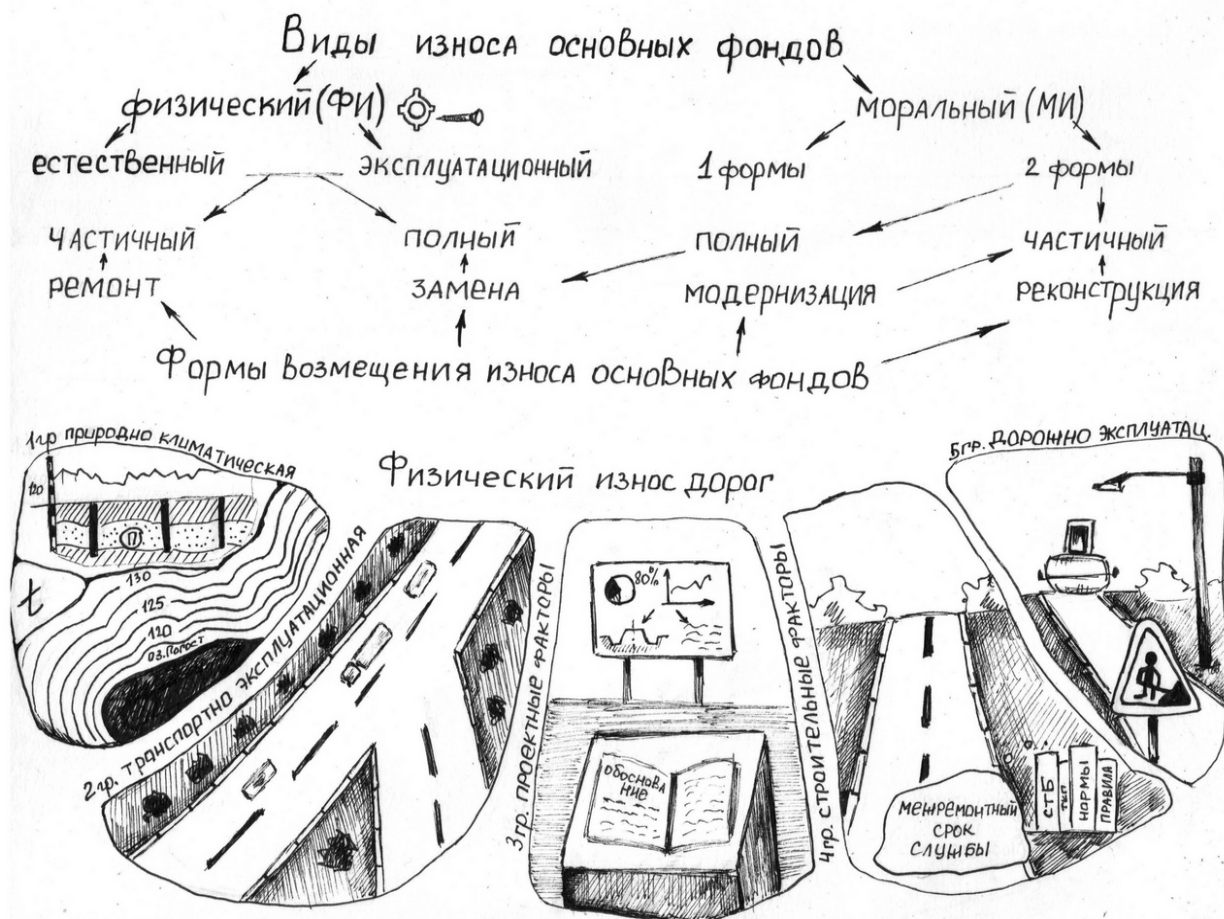


Рисунок 4 – Пример иллюстрации к теме «Износ основных производственных фондов в дорожном строительстве»

Это был интересный опыт сотрудничества и получения обратной связи от студентов, одноклассники Марии с большим интересом и доброжелательностью восприняли ее иллюстрированный курс, поддерживая и подбадривая ее в течение семестра.

Выводы. В последние годы визуализация информации в образовательном процессе все больше востребована: к ней обращаются как для поиска и анализа данных в исследовательских целях, так и для того, чтобы представить учебный материал компактно, привлекательно, с помощью системы визуальных образов в более доступной форме. Несомненно, всё более актуальными становятся проблемы визуализации мышления. Этому способствует также формирующаяся «экранная» культура современного человека и «клиповое» мышление.

Клиповое мышление – мышление в виде коротких ярких графических изображений с минимальным количеством текста. Эту отрицательную тенденцию можно побороть, прививая обучающимся правила использования графических изображений, визуализированного текста, а именно «визуальную грамотность»[3].

Поэтому преподаватели вузов должны стремиться выработать и внедрить в учебный процесс методы передачи и взаимодействия с информацией, близкие современной молодежи, комфортные ее восприятию, иными словами, использовать и опираться на преимущества клипового мышления. С другой стороны, научить концептуальному, критическому, логическому мышлению, и когнитивным методам обработки, фиксации и передачи информации, то есть, идти на преодоление недостатков клипового мышления. Ведь целью современного образования является не столько дать предметные знания: обучить конкретному предмету или материалу, сколько развить умение предвидеть и подготовиться к каким-то изменениям, важным в рамках данной профессии и воспитать людей, готовых к пожизненному обучению.

Список источников

1. Жигарева, А.А. Концепция визуализации: становление, развитие и формы проявления // Научные проблемы гуманитарных исследований.– 2011. – Вып. 7. – С.273-281
2. Бьюзен, Т. Суперинтеллект. – Мн.: Попурри, 2014. – 320 с.
3. Бережных, Е.В. Формирование визуального мышления студента – будущего бухгалтера как психолого-педагогическая проблема // Современная психология и педагогика: проблемы и решения: сб. ст. по матер. II-III междунар. науч.-практ. конф. № 2-3(2). – Новосибирск: СибАК, 2017. – С. 11-18.
4. Интеллект-карты как способ работы с информацией // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://edu.tatar.ru/upload/images/files/интеллект-карта.pdf> Дата доступа: 25.09.2018.
5. Что такое интеллект-карта и как ее нарисовать // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://berichnow.ru/finansovaya-gramotnost-2/chto-takoe-intellekt-karta-i-kak-ee-narisovat#ixzz4P9ObUX2R> Дата доступа: 24.09.2018.
6. Смирнова, А.С. Графическое представление информации [Электронный ресурс]: Международный научно исследовательский журнал, выпуск ноябрь 2012. Режим доступа: <http://research-journal.org/pedagogy/graficheskoe-predstavlenie-informacii/> Дата доступа: 12.09.2018
7. Зорина, Е.М., Чиркова, Е.И. Система визуальных образов в образовательном пространстве // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://euroasia-science.ru/pedagogicheskie-nauki/sistema-vizualnyx-obrazov-v-obrazovatelnom-prostranstve/> Дата доступа: 12.09.2018.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «Контроль качества и современные технологии получения строительных материалов»

| | |
|---|----|
| ФИНИШНАЯ АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ГРАНИТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Дубновицкий С.К., Сенчуров Е.В..... | 4 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В КАРБОНИЗИРОВАННОМ БЕТОНЕ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ ОТКРЫТОЙ АТМОСФЕРЫ Васильев А. А. | 8 |
| ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ применения В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ И БЕТОНЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМ МИКРОКРЕМНЕЗЕМОМ Гуриненко Н. С., Батяновский Э. И. | 14 |
| НОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ <i>IN-SITU</i> ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ Дереченник С.С., Тур В.В. | 23 |
| ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА Долгонок А.В., Бакатович А.А. | 39 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В ПОРОВОЙ СРЕДЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В УСЛОВИЯХ ВНУТРЕННЕГО УХОДА Кравченко В.В. | 44 |
| КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПРОДУКТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА Лазаренко О.В., Шпилевская Н.Л. | 50 |
| ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЛЕВОГО СОСТАВА ВНЕШНЕЙ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ НА СИЛИКАТНЫЕ БЕТОНЫ Левчук Н.В. | 56 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ БЕТОНОВ С АРМИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В АГРЕССИВНОЙ ВОДНОЙ СРЕДЕ Левчук Н.В., Василевская М.В. | 60 |
| О КИНЕТИКЕ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТОГО КАМНЯ И БЕТОНА С ДОБАВКОЙ «УКД-1» Марко О.Ю. | 66 |
| ИССЛЕДОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРЯГАЮЩИХ БЕТОНОВ, АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫМ ФИБРОВЛОКНОМ Павлова И.П., Беломесова К.Ю. | 75 |
| ЩЕЛОЧНАЯ РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ БЕЛОРУССКОЙ ГРЭС Парфенова Л. М., Разуева Е. А. | 80 |
| КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ИЗ ФЛЮСОВОГО ИЗВЕСТНЯКА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА Полейко Н.Л., Леонович С.Н., Пелюшкевич А.И. | 84 |

| | |
|--|-----|
| ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ НА КУБОВИДНОМ ЩЕБНЕ КОНСТРУКЦИОННОГО БЕТОНА Полейко Н.Л., Леонович С.Н, Пелюшкевич А.И. | 88 |
| МОДИФИЦИРОВАНИЕ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ УГЛЕРОДОМ Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Коледа Е.А., Будревич Н.А. | 92 |
| БЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ УГЛЕРОДОМ: ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Коледа Е.А., Будревич Н.А. | 96 |
| АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ СВЕДЕНИЙ О ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Профатило И.В., Сафончик Д.И. | 100 |
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОПИТОЧНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ Пшембаев М.К., Ковалев Я.Н., Бабицкий В.В. | 104 |
| РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЁ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ Романовский С.А., Бакатович А.А. | 108 |
| МОДИФИЦИРОВАНИЕ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ТЕРМОСТОЙКОЙ ЦИНКНАОЛНЕННОЙ ГРУНТ-ЭМАЛЬЮ НА ОСНОВЕ ЭТИЛПОЛИСИЛИКАТА Шинкарева Е.В, Статкевич П.И., Леонович С.Н., Будревич Н.А. | 112 |
| ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО АРБОЛИТА С НАПРАВЛЕННОЙ УКЛАДКОЙ ЗАПОЛНИТЕЛЯ Ягубкин А.Н. | 116 |
| ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ ПОЛЗУЧЕСТИ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА Якимович В.Д. | 121 |
| Секция «Современные подходы к решению задач управления инвестиционно-строительными процессами» | |
| ZAGADNIENIE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA DRONÓW W BUDOWNICTWIE Adam BARYŁKA..... | 126 |
| WYBRANE ZAGADNIENIA TECHNICZNO-PRAWNE WBUDOWYWANIA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH Z ROZBIÓRKI W NOWE OBIEKTY BUDOWLANE Leopold Kruszkа, Lidia Elżbieta Więclaw-Bator | 138 |
| ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ КАЧЕСТВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ Захаренко А. В. | 145 |
| ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ Царенкова И. М. | 152 |
| УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ – НЕИСПОЛЬЗОВАННЫЙ РЕСУРС В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ Чех Е.В., Федосюк Н.А., Тимошук Н.А. | 156 |
| КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ТЕАТРАЛЬНЫХ ЛЕБЁДОК В БРЕСТСКОМ ТЕАТРЕ КУКОЛ Юськович В.И., Шурин А.Б., Шалобыта Н.Н., Тимошук В.А., Алехнович С.В. | 160 |

Секция «Совершенствование подготовки инженерных кадров для строительной отрасли»

| | |
|--|-----|
| ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИХ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ Бочарова Н.В., Уласевич В.П..... | 164 |
| ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ Василевский А.В. | 169 |
| ОБ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН РАСЧЕТНОГО ЦИКЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ Игнатюк В.И., Бочарова Н.В..... | 172 |
| ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ Максимович С.В., Булай Т.В., Миклашевич А.П. | 180 |
| ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ – ВАЖНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЗАДАЧА Пойта П.С., Четырбок Н.П., Шалобыта Т.П..... | 182 |
| ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТОВ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ Срывкина Л.Г., Кисель Е.И. | 185 |
| О СИСТЕМЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ Турищев Л.С. | 190 |
| ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ И ЭЛЕМЕНТОВ СКЕТЧНОУТИНГА В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ Чех Е.В. | 195 |

Научное издание

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск: *Кисель Е.И.*
Редактор: *Боровикова Е.А.*
Компьютерная вёрстка: *Боровикова Е.А.*