

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 691.322 : 666.972

**ЭГБАЛНИК**  
**Саназ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ТВЕРДЕЮЩЕГО БЕТОНА  
УПЛОТНЯЮЩИМ ЕГО СТРУКТУРУ СУЛЬФАТОМ АЛЮМИНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Минск, 2013

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

**Батяновский Эдуард Иванович**,  
доктор технических наук, профессор, зав.  
кафедрой «Технология бетона и строи-  
тельные материалы» Белорусского нацио-  
нального технического университета

Официальные оппоненты:

**Яглов Валерий Николаевич**, доктор хи-  
мических наук, профессор, профессор ка-  
федры «Химия» Белорусского нацио-  
нального технического университета;  
**Коньков Виталий Викторович**, кандидат  
технических наук, доцент, заместитель ге-  
нерального директора РУП «Институт  
БелНИИС»

Оппонирующая организация

ГП «Институт жилища – НИПТИС им.  
Атаева С.С.»

Защита состоится «04» июля 2013 г. в 14-00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, корп.1, ауд. 202. Телефон учёного секретаря 8 (017) 265-95-87. E-mail: [sawa1950@mail.ru](mailto:sawa1950@mail.ru).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, следует отправлять на имя учёного секретаря по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Белорусский национальный технический университет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «04» июня 2013 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций,  
кандидат химических наук, доцент



П.И. Юхневский

© ЭГБАЛНИК Саназ, 2013  
© Белорусский национальный  
технический университет, 2013

## **ВВЕДЕНИЕ**

Снижению энергетических, материальных и капитальных затрат в строительном производстве способствует использование естественных, а по существу – воздушно-сухих условий твердения цементного бетона. Они характерны для летнего периода работ в монолитном строительстве, при изготовлении сборных изделий на полигонах и могут реализовываться круглогодично в заводских условиях производства строительных изделий и конструкций. Проблемой такого малозатратного варианта твердения бетона являются не поддающиеся контролю потери влаги (высыхание), сопутствующий рост пористости и проницаемости и ухудшение физико-технических характеристик и свойств бетона. Организация ухода за твердеющим бетоном в современных условиях реализуется разнообразными методами и приёмами, подробно охарактеризованными в первой главе диссертации, однако эта проблема по-прежнему актуальна и поиск новых решений продолжается.

В этой связи в диссертационном исследовании предложено и разработано её решение на основе использования недефицитного и не дорогостоящего химического продукта – сульфата алюминия ( $Al_2(SO_4)_3$ ), который стандартизован и разрешён к применению в бетоне в качестве уплотняющей структуру добавки. Эффект уплотнения структуры цементного камня и бетона, обрабатываемых этим веществом наружных поверхностей изделий (конструкций), делает их труднопроницаемыми для воды (предотвращая её испарение) и одновременно способствует упрочнению внешнего слоя бетона, повышая качество его сцепления с последующими слоями, а также с материалами последующей отделки строительных конструкций.

### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

#### **Связь работы с крупными программами и темами.**

Теоретические и экспериментальные исследования по теме диссертации приводились автором по личной инициативе с учётом климатических условий ведения бетонных работ на строительных площадках и при производстве сборных бетонных и железобетонных изделий в Республике Иран. По существу эти условия в полной мере соответствуют летнему периоду работ в Беларуси и по решаемым задачам снижения энергетических, материальных затрат и повышения качества строительства соответствуют п. 9.2 Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы, утверждённых постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. N 585.

**Объектом исследований** является цементный конструкционный тяжёлый бетон.

**Предметом исследований** является формирование структуры и свойства тяжёлого бетона, твердеющего в воздушно-сухих условиях.

**Цель исследования.** Целью исследования являлась разработка эффективной технологии первичной защиты бетона, твердеющего в воздушно-сухих условиях, нанесением на поверхность раствора уплотняющей его структуру химической добавки.

Для её достижения были решены следующие **задачи**:

- экспериментально обоснован выбор вещества уплотняющей структуру бетона добавки – сульфата алюминия ( $Al_2(SO_4)_3$ ), в сопоставлении с применяемыми в строительной практике плёнкообразующими составами и перспективными современными разработками уплотняющих структуру веществ проникающего (кольматирующего) и гидрофобизирующего действия;

- дано теоретическое обоснование и получены эмпирико-аналитические зависимости для оценки глубины проникновения в бетон вещества защитного состава, позволяющие вести соответствующие инженерные расчёты;

- подобран рациональный вариант защитного состава в виде водного 5 % - го раствора ( $Al_2(SO_4)_3$ ), обеспечивающий надлежащую защиту твердеющего в воздушно-сухих условиях конструкционного бетона, разработана технология и режимы ухода за бетоном с помощью полученного защитного состава;

- выявлены закономерности влияния изменяющихся факторов (температуры, скорости ветра, влажности воздуха и др.) на степень защиты бетона от испарения воды затвердения путём нанесения на его поверхность защитного состава в виде раствора сульфата алюминия, включая уход как за свежееотформованным бетоном, так и после распалубки изделий (конструкций);

- установлены закономерности влияния защитных составов различных принципов (механизмов) действия на прочность бетона и качество сцепления слоёв “старого” и свежего бетона, а также влияния ухода за бетоном с помощью раствора сульфата алюминия на прочностные, упруго-деформативные и эксплуатационные (стойкость в солевой среде, морозо-, водостойкость, защитную способность по отношению к стальной арматуре и др.) свойства и характеристики бетона;

- проведена производственная апробация результатов исследований, подтверждена их эффективность.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты теоретических и экспериментальных исследований, в совокупности позволивших обосновать, разработать и внедрить усовершенствованную технологию защиты бетона, твердеющего в воздушно-сухих условиях, от потерь влаги (высыхания) за счёт уплотнения и роста непроницаемости внеш-

него контура конструкций (изделий), обработанных веществом сульфата алюминия, и тем самым обеспечить качественный уход за бетоном при низких экономических и материальных затратах;

- результаты теоретических исследований и их экспериментального подтверждения, которые позволили предложить эмпирико-аналитические зависимости для оценки глубины проникновения в бетон вещества защитного состава (в частности, сульфата алюминия), обеспечивающие необходимые для реализации предложенной технологии защиты бетона инженерные расчёты;

- результаты экспериментальных исследований по сравнению эффективности различающихся “механизмами” воздействия на бетон защитных составов на основе уплотняющих структуру и гидрофобных веществ, что позволило обеспечить выбор вещества сульфата алюминия ( $Al_2(SO_4)_3$ ) в качестве базового для реализации разрабатываемой технологии;

- результаты экспериментального обоснования режимов и условий выполнения отдельных операций разрабатываемой технологии по критериям потерь влаги бетоном, изменению его структурных и прочностных свойств, что позволило установить рациональную концентрацию защитного состава, его удельный расход, время нанесения и другие параметры ухода за бетоном при изменяющихся условиях твердения – температуре, влажности и скорости движения воздуха (ветра);

- результаты экспериментальной оценки выявленной закономерности влияния первичной защиты бетона раствором  $Al_2(SO_4)_3$  на физико-технические свойства и характеристики конструкционного бетона: прочности на сжатие, изгиб, осевое растяжение (при раскалывании), модуль упругости, усадку, морозо- и солестойкость, водопоглощение, истираемость, защитную способность по отношению к стальной арматуре, которые подтвердили эффективность разработанной технологии защиты твердеющего в воздушно-сухих условиях бетона.

**Личный вклад соискателя.** Основные положения, выносимые на защиту, результаты теоретических и экспериментальных исследований, материалы научных публикаций получены и подготовлены автором самостоятельно. Определение целей и задач исследований, обобщение полученных результатов и формулирование выводов проводилось совместно с научным руководителем.

**Апробация результатов диссертации.** Основные материалы диссертации докладывались и обсуждены: на Международных научно-технических конференциях «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь» (г. Брест, 2009, БрГТУ, г. Гродно, 2010, ГрГУ), на II Международном симпозиуме «Проблемы современного бетона и железобетона» (г. Минск, 2009, 2011), на конференции молодых учёных “European and National Dimension in Research” (г. Новополоцк, ПолГУ, 2011), на научно-методическом семинаре “Повышение качества подготовки

студентов специальности “Промышленное и гражданское строительство”” (г. Минск, 2011), на ежегодных Международных научно-практических конференциях БНТУ (г. Минск, 2008, 2009, 2010, 2011 и 2012 г.г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах, 4 из которых включены в перечень ВАК (объём 3,43 авторских листа), 6 материалов конференций, симпозиумов и тезисов докладов, получено уведомление о положительном результате предварительной экспертизы по заявке на выдачу патента на изобретение: “Защитный состав для ухода за твердеющим бетоном”. Общий объём публикаций составляет 5,61 авторских листа.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, включающей 6 глав, заключения, библиографического списка из 136 наименований использованных источников и 10 наименований публикаций соискателя, 2 приложений на 16 страницах. Диссертация содержит 128 страниц основного текста, в т. ч. – 100 страниц машинописного текста, 19 рисунков, 29 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** содержит обзор и анализ литературных данных в области ухода за бетоном в начальный период твердения – мер защиты его от испарения воды затворения, а также анализ и оценку влияния различных факторов на формирование структуры и свойств цементного камня и бетона в процессе твердения.

Анализ современных вариантов ухода за твердеющим бетоном и технологий их реализации позволил выделить наиболее эффективные из них с позиций обеспечения его качества. В частности, водные (бассейновый, непрерывное дождевание, полив, укрытие поризованными или сыпучими влагоёмкими материалами и др.), а также защиту бетона разнообразными плёнкообразующими составами. Однако водный уход реализуем в узком диапазоне конструктивов и условий строительства (производства), а наиболее близкий к предлагаемому в диссертации способ защиты бетона по технологии применения – защита плёнкообразующими составами, имеет свои недостатки. В первую очередь – это ухудшение сцепления слоёв “старого-свежего” бетона, а также материалов последующей отделки с поверхностью строительных конструкций и в, отдельных случаях, ухудшение их внешнего вида. Кроме того, накопление теплоты в объёме бетона как под действием внешних источников (солнечной энергии), так и за счёт экзотермии цемента, что (кроме положительного эффекта – ускорения роста прочности) может спровоцировать образование трещин по поверхности конструкций.

По результатам анализа первоисточников определена необходимость выполнения исследований по совершенствованию методов и технологии ухода за твердеющим бетоном, сформулирована цель и задачи диссертационного исследования. Выдвинута гипотеза, согласно которой предлагаемый вариант защиты уплотнением структуры внешнего слоя бетона за счёт применения соответствующих химических веществ будет не только технологичен, но и обеспечит качественное сцепление последовательно укладываемых слоёв бетона и отделки с ним, а также устранит проблему неконтролируемого саморазогрева бетона.

**Вторая глава** содержит данные о применявшихся в исследованиях материалах для бетона, химических веществах, а также методики выполнения наиболее значимых экспериментов и исследований, детализация которых приведена в тексте соответствующих глав диссертации.

**В третьей главе** дано обоснование процесса проникновения водного раствора вещества уплотняющей структуру добавки вглубь твердеющего бетона. Рассмотрены физико-химические процессы, вызывающие явление влагопереноса в твердеющем цементном камне и бетоне, и на основе фундаментальных представлений фильтрационной гидравлики получены эмпирико-аналитические зависимости для оценки глубины проникновения вещества уплотняющей структуру добавки в бетон. При этом исходили из результатов широко известных исследований, отражённых в работах Б.Г. Скрамтаева, С.В. Шестопёрова, К.Тейлора и других исследователей, о том, что контракционные явления в твердеющем цементном тесте (камне) сопровождаются проявлением разрежения в объёме бетона. Кроме того, процесс формирования структуры цементного камня в твердеющем бетоне сопровождается постоянным перераспределением и перемещением жидкой фазы в его объёме, что способствует сорбции контактирующей с поверхностью бетона жидкости. В результате диффузионный процесс перемещения ионов вещества уплотняющей структуру добавки будет как бы включён (вовлечён) в более масштабный процесс массопереноса её раствора. На этом основании глубину проникновения защитного состава в бетон (с достаточной для инженерных расчётов точностью) можно определить с учётом фундаментальных представлений о процессе фильтрации жидкостей в пористых средах. Для решения этой задачи воспользовались данными Э.И. Батяновского, который на основе работ Л.С. Лейбензона, В.И. Щелкачёва, Р. Коллинза и других авторов по теории фильтрации жидкостей в пористых средах, получил формулу (1) для оценки глубины пропитки сухих цементосодержащих бетонных смесей водой или водными растворами химических добавок:

$$\ell = \frac{m_3 \cdot d_3}{1 - m_3} \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot P_c \cdot \tau}{\rho_{жс} \cdot \mu_3}} \quad , \text{ м}, \quad (1)$$

в зависимости от характеристик фильтрата: вязкости ( $\mu$ , н · с/ м<sup>2</sup>) и плотности ( $\rho_{ж}$ , н/м<sup>3</sup>), и характеристик фильтрационной среды: пористости –  $m_3$ , доли ед. и дисперсности (крупности) её частиц  $d_3$ , м, а также условий реализации процесса – давления ( $P_c$ , Па) и времени ( $\tau$ , с).

В настоящей диссертации формула (1) упрощена до удобного для ведения инженерных расчётов вида. Так, в частности, отношение  $m_3 / 1 - m_3$ , есть не что иное, как отношение объёма пор к объёму твёрдой фазы в единице их суммарного объёма и соответствует понятию коэффициента пористости цементного теста  $\epsilon_{цт}$ , детально рассмотренному и установленному в работах И.Н. Ахвердова для широкого диапазона  $K_{нг}$  цемента в зависимости от водоцементного отношения цементного теста. Значение эффективного (усреднённого) размера (диаметра) цементных частиц (флокул) на основании данных работ А.В. Волженского, С.В. Шестопёрова, Н.П. Блещика и других исследователей может быть приведено к некоторому фиксированному среднему расчётному значению  $d_3$  и для массово выпускаемых цементов, которые характеризуются удельной поверхностью  $S_{уд} \sim 2800 \dots 3300$  см<sup>2</sup>/г (0,28 ... 0,33 м<sup>2</sup>/г), усреднённый размер “зерна” (на основании ситового анализа) составляет:  $d_3 \sim 11,5$  мкм.

*Расчётное значение “избыточного давления”  $P_c$ , возникающего вследствие перераспределения жидкой фазы и развития контракции в объёме цементного теста и представляющего собой перепад давлений между окружающей средой (атмосферное давление) и в его объёме, может быть принято на основании данных исследований, выполненных Б.Г. Скрамтаевым с сотрудниками, С.В. Шестопёровым с сотрудниками, П.А. Ребиндером с сотрудниками, Т.С. Пауэрсом и другими исследователями при изучении явления контракции. Для расчётов использовали минимальное из установленных в этих работах для цементно-песчаного раствора значений степени разрежения через 24 часа твердения:  $\sim 9,0$  мм ртутного столба, переводя его в систему “СИ”, то есть:*

$$P_c = 9,0 / 760 \times 1,013 \times 10^5 = 1199,6 \sim 1200 \text{ Па.}$$

*Расчётный период времени ( $\tau$ ) наиболее интенсивного развития процесса проникновения вещества уплотняющей добавки в бетон установлен автором для рабочего раствора  $Al_2(SO_4)_3$  эмпирическим путём равным:  $\tau = 24$  часа или, с учётом принятой в формуле (1) размерности, – 86400 секунд. Возможная погрешность такого допущения компенсируется (что далее подтверждено совпадением расчётных и многих фактических значений “глубины” проникновения, т.е. толщины уплотнённого слоя) величиной поправочного эмпирического коэффициента  $\beta$ , учитывающего особенности фильтрационной среды, в которой развивается процесс фильтрации. В частности, отличия в развитии этого процесса для свежеложенного и частично затвердевшего бетона (при уходе за ним после распалубки).*



С учётом изложенного и ранее приведенных данных, приняв величину расчётного эффективного «диаметра» зерна цемента:  $d_3 \sim 11,5 \cdot 10^{-6}$ , м, введя величину давления вакуума:  $P_c = 1200$ , Па ( $\text{Н/м}^2$ ), и время наиболее активного периода “проникновения” раствора вещества  $\tau = 86400$ , с (24 ч), плотность используемого раствора:  $\rho_{ж}$ ,  $\text{Н/м}^3$ , и его вязкость:  $\mu_0$ ,  $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$ , а также коэффициент пористости цементного теста:  $\varepsilon_{ц.т.} = m_3 / (1 - m_3)$ , доли ед. и значение поправочного коэффициента  $\beta$ ,  $\text{Н/м}^3$ , формула (1) после преобразований приобретает вид:

$$l = 117 \sqrt{\beta} \cdot \varepsilon_{ц.т.} \cdot \sqrt{1 / \rho_{ж} \cdot \mu_0}, \text{ мм.} \quad (2)$$

На основании накопленных экспериментальных данных определено, что для обработки *свежеотформованного бетона* коэффициент  $\beta^{1/2}_{св} \sim 2,42 \times 10^{-2}$ , а при уходе за бетоном *после распалубки*  $\beta^{1/2}_{оп} \sim 1,36 \times 10^{-2}$ . После введения этих значений коэффициента  $\beta$  в формулу (2), она упрощается до вида:

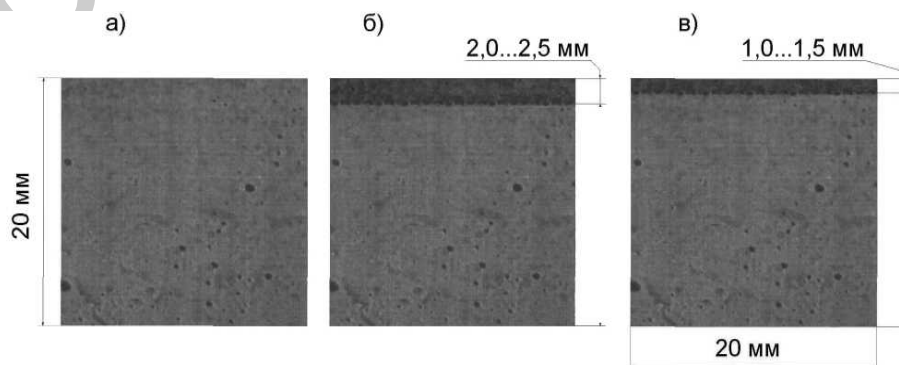
$$l_{св} = 2,83 \cdot \varepsilon_{ц.т.} \cdot \sqrt{1 / \rho_{ж} \cdot \mu_0}, \text{ мм,} \quad (3)$$

$$l_{оп} = 1,59 \cdot \varepsilon_{ц.т.} \cdot \sqrt{1 / \rho_{ж} \cdot \mu_0}, \text{ мм.} \quad (4)$$

для расчётов при уходе за свежеотформованным и после распалубки бетоном соответственно.

Согласно полученным (с учётом сделанных допущений и упрощений) зависимостям (3) и (4) глубина проникновения вещества уплотняющей добавки вглубь объёма цементного теста в бетоне связана прямой зависимостью с коэффициентом его пористости и обратной – с плотностью и динамической вязкостью раствора-фильтрата, что не противоречит физико-химической сути явления массопереноса.

На рисунке 1 (фотографии образцов) и в таблице 1 приведено подтвержде-



**Рисунок 1 – Образцы цементного камня: а) без обработки; б) обработка по свежеотформованному цементному тесту; в) обработка после распалубки**

ние возможности ведения оценочных расчётов глубины проникновения защит-

ного состава в бетон и уплотнения обрабатываемого им слоя по зависимостям (3) и (4). Отличие расчётных значений “ $l$ ” от экспериментально установленных значений составило (6 ... 9) %, что подтверждает данный вывод. В этих экспериментах защитный состав наносили на обрабатываемую поверхность за два приёма (по приведенной далее технологии).

Таблица 1 – Расчётная и экспериментальная толщины “изменённого” слоя цементного камня

| Способ обработки поверхности и расчётная формула | Расчётная толщина слоя ( $l$ , мм) | Экспериментальные данные о толщине* слоя цементного камня ( $l_{\text{exp}}$ , мм) через период времени, сут.: |         |         |         |
|--|------------------------------------|--|---------|---------|---------|
|  |                                    | 1  | 3       | 7       | 28      |
| По свежееотформованной; формула (3)              | 2,25                               | 2,231  | 2,283   | 2,338   | 2,369   |
|  |                                    | 2,205  | 2,261   | 2,316   | 2,345   |
|  |                                    | 2,229  | 2,295   | 2,339   | 2,377   |
|  |                                    | 2,277  | 2,309   | 2,388   | 2,398   |
|  |                                    | 2,306  | 2,320   | 2,348   | 2,369   |
|  |                                    | 2,218  | 2,290   | 2,355   | 2,389   |
|  |                                    | 2,245**  | 2,293** | 2,347** | 2,375** |
| После распалубки; формула (4)                    | 1,26                               | 1,240  | 1,325   | 1,363   | 1,375   |
|  |                                    | 1,282  | 1,316   | 1,359   | 1,368   |
|  |                                    | 1,247  | 1,295   | 1,339   | 1,359   |
|  |                                    | 1,219  | 1,275   | 1,309   | 1,333   |
|  |                                    | 1,283  | 1,339   | 1,336   | 1,366   |
|  |                                    | 1,280  | 1,320   | 1,353   | 1,383   |
|  |                                    | 1,258**  | 1,312** | 1,343** | 1,362** |

Примечания: \* Среднее значение по 2-м минимальным и 2-м максимальным замерам толщины слоя с округлением до 1 мкм; \*\* Среднее значение толщины слоя по 6 образцам с округлением до 1 мкм.

**Четвёртая глава** отражает результаты экспериментального обоснования разрабатываемой технологии защиты твердеющего бетона от потерь влаги (высыхания). В её первой части получены результаты сравнительных испытаний эффективности применения с этой целью гидрофобизирующих и уплотняющих структуру цементного камня (бетона) веществ, отличающихся “механизмом” действия, что позволило обосновать использование вещества сульфата алюминия ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) для дальнейших исследований.

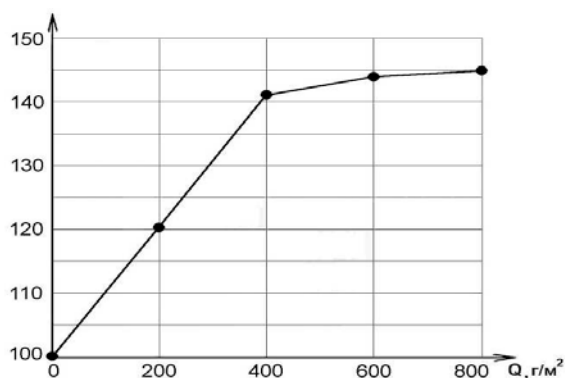
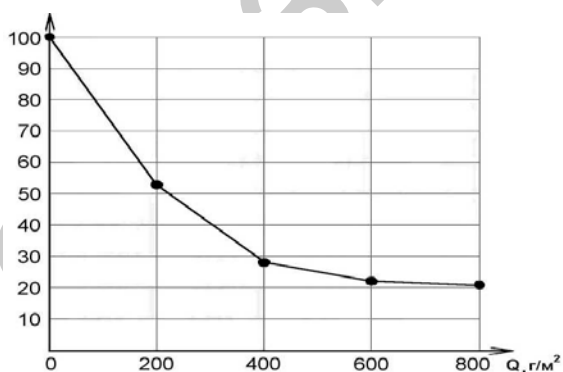
*Разработка предлагаемой технологии защиты* бетона включала экспериментальную оценку влияния концентрации вещества  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в растворе, спо-

соба нанесения, количества раз нанесения, времени начала обработки после формирования (или распалубки) при твердении в естественных воздушно-сухих условиях ( $t \sim 20 \pm 3^\circ\text{C}$ ;  $\phi \sim (60 \dots 70) \%$ ) и при повышенной до 30, 40 и  $50^\circ\text{C}$  температуре в вариантах прогрева образцов в формах в течение 24 часов и твердения после распалубки до 28 суток. Относительная влажность воздуха при повышенной температуре составляла:  $\phi \sim 40 \dots 55 \%$ ; скорость ветра  $V_v = 0 \dots 7$ , м/с). Эксперименты выполняли с использованием образцов (20 x 20 x 20 мм) цементного камня (из теста нормальной густоты), а их важнейшие результаты апробировали на образцах-балочках (160 x 40 x 40, мм) из мелкозернистого бетона (цемента – 500 кг; песка – 1500 кг; В/Ц  $\sim 0,4 \dots 0,5$ ) и образцах-кубах с ребром 100 мм тяжёлого бетона (цемента – 350 кг; щебня фракции 5-20 мм – 1150 кг; песка – 680 кг; В/Ц  $\sim 0,5$ ).

*Рациональная концентрация рабочего раствора* вещества уплотняющей структуру бетона добавки оказалась взаимосвязанной с оптимальным расходом его по критерию обеспечения защитных свойств, то есть снижения потерь влаги и прочности бетона. Установлено, что при обработке свежесформованного бетона (и его поверхности после распалубки через 24 часа твердения) рациональный расход вещества добавки на  $1 \text{ м}^2$  обрабатываемой поверхности (см. рисунок 2) составил  $\sim 400 \text{ г}$  раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  5 %-ой концентрации (проверено в сравнении с 10 % и 15 %-ой концентрацией). При этом выявлено, что содержание вещества  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в уплотнённом слое составляет  $\sim 2,0 \dots 2,9 \%$  от массы вяжущего по сухому веществу, что удовлетворяет ограничениям нормативных документов (до 3 %). Кроме этого подтверждено, что более рационально двукратное нанесение защитного состава 5 %-ой концентрации, чем за один приём 10 % и 15 % концентрации раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Очевидно это связано с

а)  $\Delta B, \%$

б)  $f_{\text{ц.к.ст}}, \%$



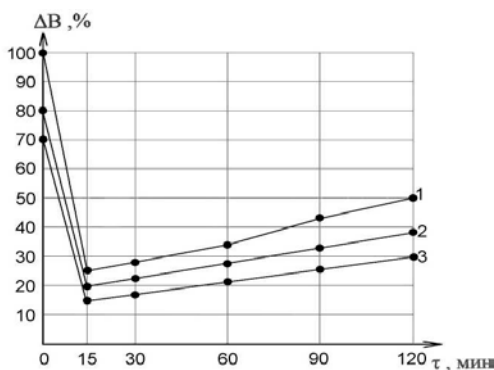
**Рисунок 2 – Тенденция изменений потерь воды (а) и относительной прочности образцов (б) в зависимости от расхода защитного состава (за 100 % приняты потери воды и прочность незащищённых образцов)**

тем, что концентрированные растворы, содержащие в 2 - 3 раза больше реагента в виде ионов алюминия и сульфата, вызывают ускоренное развитие реакций

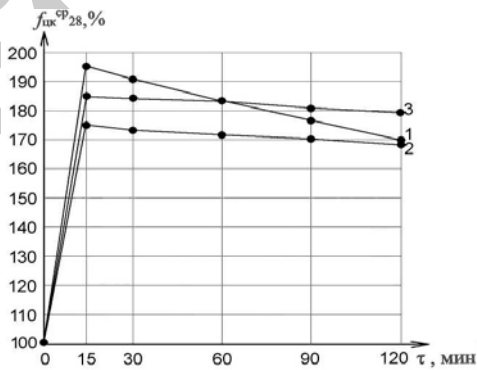
(с увеличением объемов образующихся веществ, уплотняющих структуру цементного камня) и замедляя их продвижение вглубь бетона. Этот вывод подтверждает эффект появления высолов на обрабатываемой поверхности бетона, увеличивающийся с ростом концентрации раствора.

*Влияние температуры среды, оптимальное время и количество раз нанесения защитного состава.* Данные экспериментов (рисунок 3) подтверждают наибольшую эффективность начала ухода сразу после формирования ( $\tau \leq 15$  мин.), что снижает потери влаги и способствует росту прочности бетона при твердении в диапазоне температур:  $t \sim 30 \dots 50^\circ\text{C}$  при двукратном нанесении защитного состава и его удельном расходе  $\sim 400 \text{ г/м}^2$  поверхности. В равной степени это относится к результатам экспериментов с бетоном, отражённых графическими зависимостями рисунка 4 для среды твердения при:  $t = 40^\circ\text{C}$ , в зависимости от удельного расхода защитного состава (количества раз его нанесения).

а)

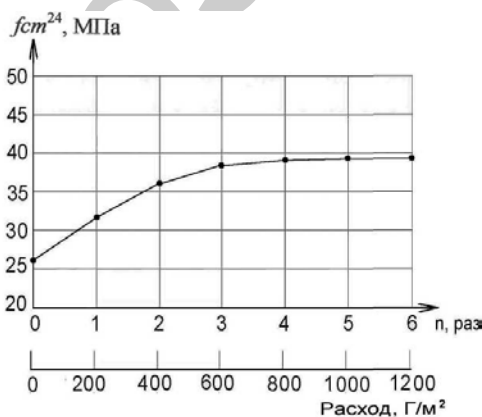


б)

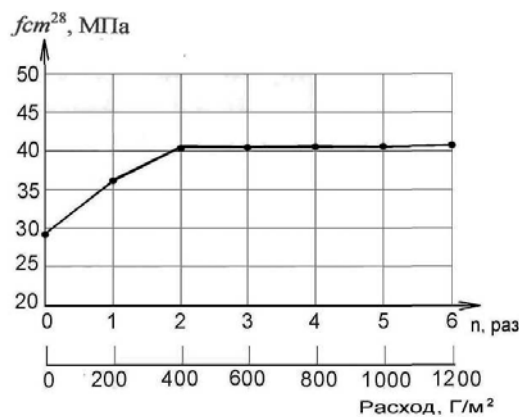


**Рисунок 3 – Изменение относительных потерь влаги образцами цементного камня (а) и изменение их прочности (б). 1, 2 и 3 – при температуре среды 50, 40 и 30°C соответственно,  $\tau = 0$  – образцы без защиты**

а)



б)



**Рисунок 4 – Зависимость прочности бетона от количества раз нанесения защитного состава в возрасте 24 часа (а) и через 28 суток (б) при прочности образцов без защиты, соответствующей “0” раз.**

Для оценки влияния скорости движения воздуха (скорости ветра,  $V_v$ , м/сек) на процесс испарения влаги с защищаемой поверхности и прочность твердеющего бетона были выполнены эксперименты с использованием специального устройства, в котором за один приём размещали до 6-ти форм с образцами цементного камня или до 4-х трёхгнездных форм с образцами бетона (кубы с ребром 70 мм) и подвергали испытаниям с фиксированной для каждого эксперимента скоростью ветра:  $V_v \sim 0; 5,0; 7,0$ , м/с и температурой: 20, 30 и 40°C. Анализируя данные исследований с защищёнными образцами цементного камня и бетона пришли к выводу, что в целом, результаты этих экспериментов подтвердили достаточность расхода 5 %-го раствора  $Al_2(SO_4)_3$  в  $400 \text{ г/м}^2$  защищаемой поверхности при его двухслойном нанесении и в случае твердения бетона в подвижной воздушно-сухой среде.

*Защита бетона после распалубки.* Из результатов экспериментов, частично представленных в автореферате (таблица 2) и отражающих кинетику роста прочности бетона (образцы двукратно обработаны 5%-ым раствором ( $Al_2(SO_4)_3$  после распалубки) при различных режимах твердения в воздушно-сухих условиях следует, что данные, полученные на образцах бетона, согласу-

Таблица 2 – Кинетика роста прочности бетона при различных режимах твердения в воздушно-сухих условиях

| Температура среды твердения, °С | Скорость ветра $V_v$ , м/сек | Прочность бетона на сжатие, МПа, в возрасте, суток: |      |      |      | Относительная прочность бетона в возрасте 28 сут, % |
|---------------------------------|------------------------------|---|------|------|------|---|
|                                 |                              | 1   | 3    | 7    | 28   |   |
| 20 (образцы не защищены)        | 0                            | 7,6   | 22,0 | 23,3 | 24,5 | 60,5  |
| 20                              | 0                            | 6,2   | 21,1 | 30,8 | 40,8 | 100   |
| 20                              | 5                            | 6,5   | 21,8 | 31,0 | 40,0 | 98  |
| 20                              | 7                            | 6,7   | 22,9 | 30,6 | 39,6 | 97  |
| 30                              | 0                            | 11,3  | 30,2 | 38,8 | 40,0 | 98  |
| 30                              | 5                            | 12,0  | 31,6 | 38,9 | 39,6 | 97  |
| 30                              | 7                            | 12,2  | 32,5 | 37,7 | 39,2 | 96  |
| 40                              | 0                            | 18,2  | 36,5 | 37,0 | 39,5 | 97  |
| 40                              | 5                            | 18,8  | 35,2 | 37,0 | 39,3 | 97  |
| 40                              | 7                            | 19,5  | 36,1 | 39,0 | 38,6 | 95  |
| 40*                             | 0                            | 18,9  | 35,5 | 38,4 | 40,0 | 98  |
| 40*                             | 5                            | 19,0  | 35,3 | 38,9 | 39,4 | 97  |
| 40*                             | 7                            | 20,1  | 36,3 | 39,0 | 39,3 | 97  |

\*Примечание – раствор ( $Al_2(SO_4)_3$ ) наносили 3 раза (расход  $\sim 600 \text{ г/м}^2$ )

ются в общих тенденциях с ранее установленными закономерностями роста прочности образцов цементного камня в рамках экспериментов с изменением температуры и скорости движения воздуха. При этом ускоренный рост прочности бетона при  $t = 40^\circ \text{C}$  сопровождается её “недобором” (относительно образцов, твердевших при  $t = 20^\circ \text{C}$ ) на 2 ...4 % к проектному возрасту. Вместе с тем, установлено, что прочность образцов защищенного бетона к 56 суткам воздушно-сухого твердения достигает прочности бетона проектного возраста (т.е. 28 суток), твердевшего в стандартных нормально-влажностных условиях. Это, с одной стороны, свидетельствует о сохранении защитного эффекта нанесённого состава во времени, а с другой, позволяет не прибегать к повышению проектной прочности защищаемого бетона с учётом её последующего роста.

Оценка количества химически связываемой цементом (ПЦ М500 – Д0;  $K_{\text{нг}} = 0,26$ ) воды и степень его гидратации показала очевидную эффективность защиты (после формования и после распалубки образцов) твердеющего в воздушно-сухих условиях цементного камня уплотняющей структуру добавкой – веществом  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . В частности, количество химически связанной воды цементом и степень его гидратации к 28 суткам твердения, принятые за 100% для нормально-влажностных условий, составили к этому времени для образцов без защиты – 68 %, а с защитой 5 %-ым раствором  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  - 92,3%; 90,2% и 86,7%, для температуры среды твердения в 20; 30 и 40°C соответственно. То есть, уход за твердеющим бетоном с помощью уплотняющего его структуру вещества  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  обеспечивает удовлетворительные условия для развития процессов взаимодействия цемента с водой и формирования структуры цементного камня и бетона при твердении в воздушно-сухой среде.

В пятой главе дана экспериментальная оценка влияния защитного состава в виде водного 5 %-го раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  на физико-технические свойства бетона (рисунок 5, таблица 3).

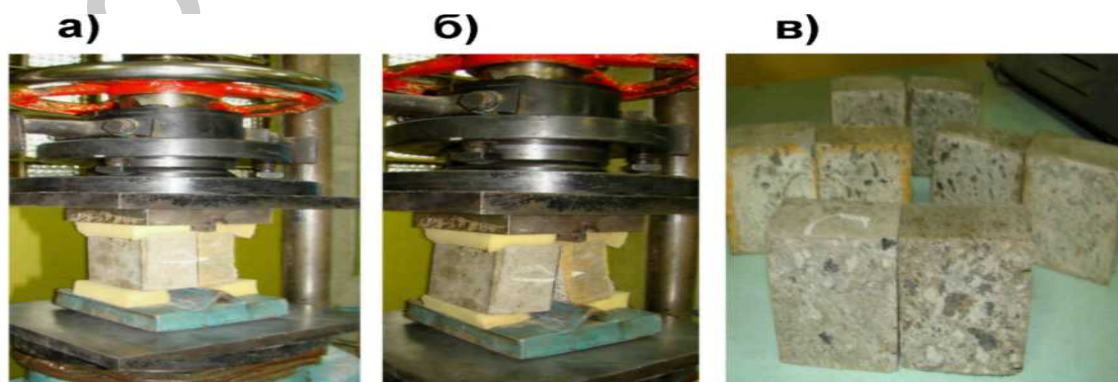


Рисунок 5 – Испытания при оценке прочности “старого” и “свежего” слоёв бетона раскалыванием а) до испытаний; б) после испытаний; в) расколотые образцы бетона

Таблица 3 – Физико-технические свойства бетона, твердевшего при  $t \sim 20 \pm 3^\circ\text{C}$ ;  $\varphi \sim 60 \pm 5 \%$

| Показатель и вид бетона*  | Размерность       | Образцы без защиты | Обработка $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | Относительная величина показателя, % |
|---|-------------------|--------------------|--|--------------------------------------|
| 1.Прочность на сжатие   | МПа               | 28                 | 40,5                                   | 145                                  |
| 2.То же (мелкозернистый)  | МПа               | 32                 | 48,5                                   | 152                                  |
| 3.Прочность на осевое растяжение (раскалыванием)                              | МПа               | 3,5                | 5,1                                    | 134                                  |
| 4.То же (мелкозернистый)  | МПа               | 3,9                | 5,3                                    | 136                                  |
| 5.Прочность на растяжение при изгибе (мелкозернистый)                         | МПа               | 4,8                | 6,9                                    | 136                                  |
| 6.Модуль упругости (мелкозернистый)   | ГПа               | 22,0               | 28,0                                   | 127                                  |
| 7.Усадка (мелкозернистый) при стабилизации к 42 суткам                        | мкм               | 155                | 111                                    | 72                                   |
| 8.Количество химически связанной воды цементом (цементный камень) к 28 суткам | %                 | 9,7                | 13,2                                   | 136                                  |
| 9.Степень гидратации цемента  | доли ед.          | 43,0               | 58,1                                   | 135                                  |
| 10.Водопоглощение (по массе)  | %                 | 3,8                | 3,2                                    | 84                                   |
| 11.Морозостойкость  | марка             | F200               | F300-350                               | 150                                  |
| 12.Солестойкость в растворе $\text{NaCl}$ по прочности к 20 циклам            | МПа               | 27,1               | 38,8                                   | 143                                  |
| 13.Коррозионное состояние арматуры через 10 и 20 циклов                       | 10 циклов         | неустойчивое       | пассивное                              | –                                    |
|   | 20 циклов         | коррозия           | неустойчивое, но коррозия отсутствует  | –                                    |
| 14.Истираемость бетона  | г/см <sup>2</sup> | 1,3                | 0,8                                    | 61                                   |

\* Без дополнительного указания – бетон с крупным заполнителем (щебень гранитный фракции 5...20 мм)

Во всех случаях образцы бетона изготавливали вибрированием на стан-

дартной лабораторной площадке (параметры: амплитуда  $\sim 0,5$  мм; частота  $\sim 50$  Гц). Одним из существенных преимуществ защиты бетона уплотняющим его структуру веществом  $Al_2(SO_4)_3$  является повышение качества сцепления (или прочности сцепления) слоёв “старого” и “свежего” бетона в сравнении с иными вариантами ухода за ним. Оценку прочности сцепления “старого” (уложенного в форму за 24 часа до формования 2-го слоя) и “свежего” (т.е. 2-го) слоя тяжёлого бетона (на ПЦ М500-Д20;  $K_{нт} \sim 0,28$ ) с крупным заполнителем осуществили, определяя величину усилия и прочность на осевое растяжение образцов (70 x 70 x 70 мм) при испытаниях раскалыванием (рисунок 5 (а, б и в)). Установлено, что прочность “сцепления слоёв” защищённого бетона возросла в 2,63 раза, твердевшего под слоем воды – в 2,3 раза, защищённого “Пенетроном” – в 1,7 раза и плёнкообразующим составом “Помороль-86” – в 1,23 раза в сравнении с образцами без защиты первого (старого) слоя бетона.

Рост качества (сил) сцепления слоёв бетона связан с тем, что не всё нанесённое на поверхность 1-го слоя вещество  $Al_2(SO_4)_3$  химически связывается. Диффундируя (“впитываясь”) в контактный слой цементного камня “свежего” бетона остаток вещества  $Al_2(SO_4)_3$  вступает в реакции с продуктами гидролиза-гидратации цемента в этом слое, способствуя проявлению эффекта “сращивания” контактирующих слоёв с повышением сил их взаимодействия, что обеспечивает рост прочности в зоне их контакта, в сравнении с другими вариантами защиты бетона. Одновременно установлено, что, несмотря на выявленный рост сил сцепления в зоне контакта “старый”-“свежий” бетон при его защите раствором сульфата алюминия, уровень прочности стыка ( $f_{ctm} \sim 1,13$  МПа) существенно ниже прочности на осевое растяжение собственно бетона образцов-аналогов:  $f_{ctm} \sim 3,8$  МПа, установленный в данном эксперименте, т.е. составляет  $\sim 30$  % её величины.

В таблице 3 приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований физико-механических и эксплуатационных свойств и характеристик бетона (мелкозернистого и с крупным заполнителем), которые были выполнены по стандартизированным и общепризнанным методикам, приведенным в диссертации. Их оценка позволяет сделать вывод об эффективности предложенного варианта защиты твердеющего в воздушно-сухих условиях бетона (ухода за ним).

**Шестая глава** содержит данные о веществе сульфата алюминия, характеристики его растворов и важнейшие правила ведения работ, дополняющие информацию технологического регламента (дан в приложении к диссертации). В ней приведено описание работ и результатов производственной апробации предложенной технологии защиты твердеющего бетона.

Эффективность разработки оценивали для ОАО “Завод сборного железобетона – г. Борисов” (Минская обл.) по результатам сопоставления данных произ-



водственной апробации используемого предприятием вещества “Пенетрон” (РФ) и предлагаемой технологии с использованием сульфата алюминия, при соблюдении правила прочих равных условий (равный расход материалов (~ 400 г/м<sup>2</sup> поверхности), двукратное нанесение и одинаковые условия твердения бетона), а также с учётом затрат на приготовление раствора сульфоалюмината с использованием сухого Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (“Пенетрон” поставляется жидким). Удельная экономическая эффективность составила до 8,5...10,0 тысяч рублей на 1 м<sup>2</sup> поверхности защищаемого бетона в изделиях, изготавливаемых на полигоне в открытых формах. Это высокий показатель, основу которого составляет низкая стоимость отечественного сульфата алюминия (~ 2000 руб/кг).

При производственном внедрении результатов исследований на заводе железобетонных изделий ОАО “Завод ЖБИ” г. Барановичи, Брестской области (изготовление свай на стенде (72 м) с греющим поддоном) эффективность обеспечена за счёт возможности снижения продолжительности изотермической выдержки бетона изделий на 1,0...1,5 часа при обеспечении заданной прочности на уровне  $\geq 70$  % от проектной. По данным экономических служб завода о затратах на энергоресурсы, а также с учётом затрат на сульфат алюминия, подготовку раствора, выполнение дополнительных работ по его нанесению экономическая эффективность ориентировочно составляет ~ 8000 руб/м<sup>3</sup> бетона в изделиях. Соответствующие акты о внедрении приведены в диссертации.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Разработана усовершенствованная технология защиты бетона, твердеющего в воздушно-сухих условиях, от потерь влаги (высыхания) за счёт уплотнения структуры и роста непроницаемости обрабатываемого 5 %-ым раствором сульфата алюминия его внешнего слоя, что обеспечивает качественный уход за свежесформованными или после снятия опалубки (бортоснастки) бетонными и железобетонными строительными конструкциями [1... 10].

2. Предложены, теоретически и экспериментально обоснованы эмпирико-аналитические зависимости, позволяющие расчётно оценить глубину проникновения наносимого на обрабатываемую поверхность цементного бетона защитного состава с учётом его свойств (динамической вязкости, плотности, температуры), структурных характеристик цементного теста в бетоне (коэффициента пористости, размера зёрен цемента), продолжительности периода воздействия и глубины разрежения (перепада давления) в объёме твердеющего бетона [1, 5, 9, 10].

3. Получены результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности с позиций защиты бетона от испарения воды затвердения при твердении в сухой среде с повышенной температурой ( $t \sim (20 \dots 50)^\circ\text{C}$ ;  $\varphi \sim (40 \dots 60) \%$ ) с использованием различающихся механизмом действия защитных составов и веществ (гидрофобных, плёнкообразующих, уплотняющих структуру), что позволило обосновать выбор вещества сульфата алюминия ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), как наиболее выгодного по сочетанию эффективности защиты бетона при наименьших экономических затратах [2, 3, 6, 7, 10].

4. Разработаны и экспериментально обоснованы оптимальные режимы и условия реализации предложенной технологии защиты бетона веществом сульфата алюминия, включающие рациональную концентрацию раствора, время нанесения защитного состава, его удельный расход; выявлены изменения структурных и прочностных свойств бетона, твердеющего при температуре  $20 \dots 50^\circ\text{C}$ , влажности среды  $40 \dots 90 \%$ , скорости ветра  $0 \dots 7$  м/с, продолжительности твердения ( $1 \dots 112$  суток) и на этом основании разработан технологический регламент для реализации предложенной технологии защиты бетона (ухода за ним) [2, 4, 8, 10].

5. Получено экспериментальное подтверждение эффективности разработанной технологии защиты твердеющего бетона путём оценки его физико-механических и эксплуатационных свойств, отражённое в повышении прочности на сжатие до  $40 \%$ , растяжение при изгибе и раскалывании до  $36 \%$ , модуля упругости до  $27 \%$ , снижение усадки в  $1,39$  раза и водопоглощения на  $16 \%$ , в росте морозостойкости в  $1,5 \dots 2$  раза, солестойкости в  $1,5 \dots 2$  раза, снижении истираемости до  $162 \%$  и в росте защитной способности по отношению к стальной арматуре в  $1,5 \dots 2$  раза [3, 4, 7, 10].

6. Внедрение результатов диссертационного исследования в производство бетонных и железобетонных изделий, изготавливаемых в полигонных и заводских условиях, подтвердило его эффективность, выраженную снижением удельной стоимости ухода за бетоном до  $10\,000$  рублей на  $1\text{ м}^2$  защищаемой поверхности.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Теоретические и экспериментально-практические результаты исследований диссертации рекомендуется использовать:

– при организации твердения бетонных и железобетонных изделий на открытых площадках в естественных воздушно-сухих условиях;

– при прогревах сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций “сухими” методами тепловой обработки в электромагнитных (индукционных) камерах или иных тепловых агрегатах, работающих с использовани-

ем разнообразных нагревателей, тэнов, продуктов сгорания или отходящих топочных газов;

– при организации твердения бетонных и железобетонных монолитных конструкций строящихся (реконструируемых) зданий и сооружений различных типов и предназначения.

Репозиторий БНТУ

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

### Статьи в рецензируемых журналах

1. Эгбалник, С. Теоретические основы фильтрационно-диффузионной защиты поверхности твердеющего бетона / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский // Строительная наука и техника. – Минск, 2011. – №6 (39). – С. 9–13.
2. Эгбалник, С. Основные положения технологии первичной защиты твердеющего бетона уплотняющим структуру составом / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский // Строительная наука и техника. – Минск, 2012. – №2 (41). – С. 72–80.
3. Эгбалник, С. Технология и эффективность защиты твердеющего бетона веществом сульфалоюмината / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский // Строительная наука и техника. – Минск, 2013. – №1 (42). – С. 14-21.
4. Эгбалник, С. Теоретико-практические аспекты ухода за твердеющим цементным бетоном / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский // Наука и техника. – Минск, 2013. – №3 . – С. 22–27.

### Статьи и тезисы в материалах конференций

5. Эгбалник, С. Теоретические аспекты первичной защиты твердеющего бетона / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский, В.И. Коваженкова // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров РБ: сб. тр. XVI Междунар. науч.-метод. семинара: в 2 ч./ Под общ. ред. П.С. Пейты, В.В. Тура. – Брест: БрГУ, 2009. – С. 25-29.
6. Эгбалник, С. Первичная защита твердеющего бетона путём уплотнения структуры его поверхностного слоя / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский, В.И. Коваженкова // Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы II Международного симпозиума: в 2 т./Под общ. ред. М.Ф. Марковского – Минск, 2009. Т. 1, – С. 403 – 411.
7. Эгбалник, С. Защита твердеющего бетона уплотняющими структуру составами / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский, В.И. Коваженкова, А.А. Шматов // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров РБ: сб. науч. статей. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С. 375 -380
8. Эгбалник, С. Проблемы и эффективность ухода за бетоном защитными составами / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский // Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы III Международного симпозиума: в 2 т./Под общ. ред. М.Ф. Марковского – Минск, 2011. – С. 503-514.
9. Eghbalnik, S. PRIMARY PROTECTION OF HARDENING CONCRETE BY SUBSTANCES CONSOLIDATING THE STRUCTURE (Доклад на конференции молодых учёных: “EUROPEAN AND NATIONAL DIMENSION IN RESEARCH”). – Новополоцк, 2011. Полоцкий государственный университет. Ч.3, С. 96 – 100.

10. Эгбалник, С. Методы, приёмы и режимы ухода за бетоном в процессе твердения / С. Эгбалник, Э.И. Батяновский // Повышение качества подготовки студентов специальности “Промышленное и гражданское строительство”: сб. науч. статей науч.-метод. семинара. – Минск, 2011. – С. 230-242.

### **Патенты**

1. Защитный состав для ухода за твердеющим бетоном: заявка N 20121693 от 05.12.2012 на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение, / Э.И. Батяновский, С. Эгбалник; заявитель: БНТУ, НИЧ, ОНТИ ИС и МК, Баховчук Н.И., пр-т Независимости, д.65, 220013, г. Минск – № и 20121693 ; заявл. 05.12.2012

**РЭЗІЮМЭ**

ЭГБАЛНІК Саназ

## **Тэхналогія пярвічнай аховы цвярдзеючага бетону ушчыльняючым яго структуру сульфатам алюмінію**

**Ключавыя словы:** бетон, цаментны камень, структура, уласцівасці, ушчыльняючыя структуру рэчывы, састаў, сульфат алюмінію, тэхналогія аховы.

**Мэта працы** – распрацоўка эфектыўнай тэхналогіі першапачатковай аховы бетону, які цвярдзее ў паветрана-сухіх умовах, нанясеннем паверх яго раствору дабаўкі, якая ушчыльняе структуру.

**Аб’ект даследаванняў** – цаментны канструкцыйны цяжкі бетон.

**Прадмет даследаванняў** – фарміраванне структуры і ўласцівасцей цяжкага бетону, які цвярдзее ў паветрана-сухіх умовах.

У выніку тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў распрацавана ўдасканаленая тэхналогія аховы бетону, які цвярдзее ў паветрана-сухіх умовах, ад выдаткаў вільгаці (высыхання) за кошт ушчыльнення структуры і росту шчыльнасці яго вонкавага слою, які апрацаваны 5%-м раствором сульфату алюмінію, што забяспечвае якасны догляд за свежаадфармаванымі, альбо пасля здыму апалубкі (форм) бетоннымі і жалезабетоннымі будаўнічымі канструкцыямі.

Прапанаваны, тэарэтычна і эксперыментальна абгрунтаваны эмпірыка-аналітычныя залежнасці, якія дазваляюць разлікова ацаніць глыбіню праходу нанесенага на апрацаваны вонкавы слой цаментнага бетону ахоўваючага саставу з улікам яго якасцей (дынамічнай вязкасці, шчыльнасці, тэмпературы), структурных характарыстык цаментнага цеста ў бетоне (каафіцыента порыстасці, памеру зерня цаменту), часу ўздеяння і глыбіні разрэджвання (перападу ціску) у аб’ёме цвярдзеючага бетону.

Распрацаваны і эксперыментальна абгрунтаваны аптымальныя рэжымы і ўмовы рэалізацыі тэхналогіі аховы бетону рэчывам сульфату алюмінію, якія ўключаюць рацыянальную канцэнтрацыю раствору, час нанясення ахоўнага саставу, яго удзельны расход; устаноўлены змены ў структурных і моцнасных якасцях бетону, які цвярдзее пры тэмпературы 20...50 °С, вільготнасці асяредзя 40...90 %, хуткасці ветру 0...7 м/с і на гэтай падставе распрацаван тэхналагічны рэгламент для рэалізацыі прапанаванай тэхналогіі аховы бетону (догляду за ім).

Выканана прамысловае апрабаванне вынікаў дысертацыйнага даследавання, якое пацвердзіла высокі ўзровень іх тэхналагічнай распрацоўкі і эканамічную эфектыўнасць.

### **РЕЗЮМЕ**

Эгбалник Саназ

**Технология первичной защиты твердеющего бетона**

## уплотняющим его структуру сульфатом алюминия

**Ключевые слова:** бетон, цементный камень, структура, свойства, уплотняющее структуру вещество, состав, сульфат алюминия, технология защиты.

**Цель работы** – разработка эффективной технологии первичной защиты бетона, твердеющего в воздушно-сухих условиях, нанесением на поверхность раствора уплотняющей его структуру химической добавки.

**Объект исследований** – цементный конструкционный тяжёлый бетон.

**Предмет исследований** – формирование структуры и свойства тяжёлого бетона, твердеющего в воздушно-сухих условиях.

**В результате теоретических и экспериментальных исследований:**

Разработана усовершенствованная технология защиты бетона, твердеющего в воздушно-сухих условиях, от потерь влаги (высыхания) за счёт уплотнения структуры и роста непроницаемости обрабатываемого 5 %-ым раствором сульфата алюминия его внешнего слоя, что обеспечивает качественный уход за свежесформованными или после снятия опалубки (бортоснастки) бетонными и железобетонными строительными конструкциями.

Предложены, теоретически и экспериментально обоснованы эмпирико-аналитические зависимости, позволяющие расчётно оценить глубину проникновения наносимого на обрабатываемую поверхность цементного бетона защитного состава с учётом его свойств (динамической вязкости, плотности, температуры), структурных характеристик цементного теста в бетоне (коэффициента пористости, размера зёрен цемента), продолжительности периода воздействия и глубины разрежения (перепада давления) в объёме твердеющего бетона.

Разработаны и экспериментально обоснованы оптимальные режимы и условия реализации технологии защиты бетона веществом сульфата алюминия, включающие рациональную концентрацию раствора, время нанесения защитного состава, его удельный расход; выявлены изменения структурных и прочностных свойств бетона, твердеющего при температуре 20...50°C, влажности среды 40...90 %, скорости ветра 0...7 м/с и на этом основании разработан технологический регламент для реализации предложенной технологии защиты бетона (ухода за ним).

Выполнена опытно-промышленная и производственная апробация результатов диссертационного исследования, подтвердившая высокий уровень их технологической разработки и экономическую эффективность.

## SUMMARY

Eghbalnik Sanaz

## **Primary Protection Technology of Hardening Concrete by Aluminum Sulfate Consolidating its Structure**

**Key words:** concrete, cement stone, structure, properties, substance consolidating structure, compound, aluminum sulfate, technology of protection.

**The goal of the research** is to develop the effective technology of primary protection of the concrete hardening in air-dry conditions by drawing on its surface of a solution of chemical admixture consolidating its structure.

**The object of the research** is the cement constructional heavy concrete

**The subject of the research** is the formation of structure and properties of the heavy concrete hardening in air-dry conditions.

**As a result of theoretical analyses and experimental researches:**

The advanced technology of protecting concrete hardening in air-dry conditions from losses of moisture (drying) by consolidating structure and growth of tightness of its external layer processed with 5 % solution of aluminum sulfate that provides qualitative care for freshly formed or after timbering removal concrete and reinforced concrete building constructions is worked out.

The empirical-analytical dependences allowing to estimate the depth of penetration of protecting substance put on a processed surface of a cement concrete with the account of its properties (dynamic viscosity, density, temperature) structural characteristics of the cement test in concrete (factor of porosity, the size of grains of cement) duration of the period of influence and depth of depression (pressure difference) in the volume of hardening concrete are offered and theoretically and experimentally proved.

Optimum modes and conditions of realization of concrete protection technology by substance of aluminum sulfate including rational concentration of a solution, time of drawing of protecting compound, its specific expense are developed and experimentally proved, structural and strength properties of the concrete hardening at a temperature 20...50°C, humidity 40...90 %, wind speed 0...7 m/s are revealed and on this basis the production schedules are developed for realization of the offered concrete protection technology.

Pilot production and manufacturing testing of the dissertation research results were completed, confirming the high level of their technological development and efficiency.



Научное издание

**ЭГБАЛНИК**

**Саназ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ТВЕРДЕЮЩЕГО БЕТОНА  
УПЛОТНЯЮЩИМ ЕГО СТРУКТУРУ СУЛЬФАТОМ АЛЮМИНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Подписано в печать 04.06.2013. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 80. Заказ 590.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.