

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

## **ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА**

Методические указания по выполнению курсовой работы  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2016

УДК 691.5.58 (075.8)  
ББК 38.3 я 73  
В99

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензенты: кандидат технических наук, заместитель директора по качеству ООО «Строительные материалы» (г. Пенза) В.Ю. Нестеров;  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление качеством и технология строительного производства» ПГУАС Л.В. Макарова

**Вяжущие** вещества: методические указания по выполнению курсовой работы по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / М.О. Коровкин, В.И. Калашников, Н.А. Ерошкина. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 52 с.

Изложены основные сведения по методике выполнения курсовой работы по курсу «Вяжущие вещества». Даны рекомендации по выбору темы работы, подбору литературы, оформлению результатов.

Методические указания подготовлены на кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» и предназначены для использования студентами, обучающимися по направлению 08.03.01 «Строительство», при выполнении курсовой работы.

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2016  
© Коровкин М.О., Калашников В.И.,  
Ерошкина Н.А., 2016

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение курса «Вязущее вещества» предусматривает выполнение курсовой работы. Этот вид учебной деятельности характеризуется большей степенью самостоятельности чем лекционные, практические и лабораторные занятия. И это позволяет полнее сформировать у студента необходимые профессиональные и общепрофессиональные компетенции, в частности умение самостоятельно осуществлять поиск и использовать нормативные и правовые документы в профессиональной деятельности.

Курсовая работа может быть выполнена в форме теоретического исследования заданной проблемы на основе актуальной научно-технической и нормативной литературы. Это позволит студенту получить навыки работы со специализированными научными и техническими журналами, материалами конференций, семинаров, научно-технической информацией, ГОСТ, ТП, СТП. Кроме того, курсовая работа может быть выполнена в виде научного исследования.

Подготовка курсовой работы позволяет сформировать у студента необходимые компетенции: способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования. Кроме того, у студента получит дальнейшее развитие способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат. При этом должны улучшиться навыки использования нормативных и правовых документов в профессиональной деятельности.

В результате выполнения и защиты курсовой работы студент должен:

*знать:*

- научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт производства и применения вяжущих веществ;

- методологию проведения аналитических и экспериментальных исследований;

*уметь:*

- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в проектировании технологических процессов и процессов производства строительных материалов, изготовленных на основе вяжущих;

- применять методы математического анализа и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования процессов производства вяжущих веществ;

*владеть:*

- навыками выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в технологии вяжущих веществ;

- навыками использования для решения производственных проблем физико-математического аппарата.

Целью настоящих методических указаний является дополнить основную учебную литературу, лекционные и практические занятия необходимыми сведениями для более полного овладения методами проектирования в соответствии с техническим заданием, а также создать основу для проведения предварительного технико-экономического обоснования проектных решений.

Остальные общепрофессиональные и профессиональные компетенции, приобретаемые при усвоении курса «Вяжущие вещества», могут быть сформированы при изучении соответствующей учебно-методической литературы.

# 1. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа – это исследование какой-либо актуальной проблемы производства и применения вяжущих веществ. Работа выполняется студентом самостоятельно, но под руководством преподавателя, который консультирует студента согласно требованиям к содержанию и оформлению курсовой работы, подбору литературы, методов исследования. Кроме того, руководитель курсовой работы контролирует сроки ее выполнения, соответствие заданию и качество выполнения.

Предполагается два вида курсовых работ:

- теоретическое или аналитическое исследование отдельной проблемы производства и применения какого-либо вяжущего материала;
- экспериментальные исследования эффективности различных факторов в технологии производства и применения вяжущих веществ.

Процесс подготовки курсовой работы в виде аналитического исследования состоит из следующих этапов:

- выбор и утверждение темы работы;
- подбор необходимой для ее выполнения литературы;
- разработка и согласование с руководителем плана курсовой работы;
- изучение научной, технической и нормативной литературы по теме исследования, подготовка ее обзора;
- написание разделов работы и передача их на проверку руководителю;
- доработка курсовой работы с учетом замечаний;
- оформление курсовой работы в соответствии с требованиями настоящих методических указаний;
- защита курсовой работы.

При выполнении курсовой работы в виде экспериментального исследования порядок подготовки работы в целом такой же, как для аналитического исследования, только после изучения литературы по теме формулируются цели и задачи исследования, выбираются материалы и методики исследования. Лишь после этого проводятся экспериментальные исследования, по результатам которых пишется основной раздел курсовой работы. Обзор литературных источников, описание методов и материалов для исследований и основной раздел – результаты экспериментов и их анализ – передаются на проверку руководителю курсовой работы. Затем она дорабатывается с учетом замечаний, оформляется и защищается в установленном порядке.

## 1.1. Выбор и утверждение темы работы

Выбор темы курсовой работы производится студентом самостоятельно из предлагаемого списка. При этом необходимо учитывать актуальность проблем технологии производства и применения вяжущих веществ. Перечень примерных тем курсовых работ приведен ниже.

Могут быть рекомендованы следующие темы курсовых работ, выполняемых в форме теоретического или аналитического исследования:

1. Сырье для производства гипсовых вяжущих.
2. Технология производства гипсовых вяжущих на основе отходов и побочных продуктов промышленности.
3. Технология и свойства строительного гипса для сухих строительных смесей.
4. Химические добавки в технологии строительных материалов и изделий на основе строительного гипса.
5. Повышение водостойкости строительных материалов и изделий на основе строительного гипса.
6. Производство воздушной извести в шахтных печах.
7. Пути повышения эффективности технологи воздушной извести.
8. Перспективные технологии воздушной извести.
9. Магнезиальные вяжущие.
10. Использование промышленных отходов в качестве сырья для производства портландцемента.
11. Методика расчета сырьевой шихты для производства портландцемента.
12. Технология приготовления сырьевой шихты портландцемента сухим способом.
13. Повышение эффективности обжига портландцементного клинкера.
14. Пути снижения выбросов углекислого газа в технологии портландцемента.
15. Технология помола портландцемента.
16. Процессы гидратации и твердения портландцемента.
17. Кинетика твердения портландцемента.
18. Химическая коррозия цементного камня.
19. Карбонизация цементного камня.
20. Типы общестроительных цементов: состав, свойства и рациональные области применения.
21. Химические добавки: ускорители твердения цемента.
22. Химические добавки: замедлители схватывания цемента.
23. Химические добавки: пластификаторы и суперпластификаторы.
24. Безобжиговые вяжущие щелочной активации.
25. Ресурсосберегающие технологии производства вяжущих щелочной активации.

26. Долговечность геотрастовых вяжущих.
27. Эксплуатационные свойства минерально-шлаковых вяжущих.
28. Перспективы использования геосинтетических вяжущих.
29. Технология геополлимерных вяжущих на основе золы ТЭС.
30. Преимущества и недостатки геополлимерных вяжущих на основе золы ТЭС.

При согласовании с руководителем выпускной квалификационной работы студенту может быть назначена тема, предполагающая выполнение экспериментальных исследований технологии производства или применения вяжущих. Такая форма целесообразна, если студент работает в научно-исследовательском кружке по соответствующей тематике, а выпускная квалификационная работа будет выполняться в форме научно-исследовательской работы.

Могут быть рекомендованы следующие темы курсовых работ, выполняемых в форме экспериментального исследования:

1. Исследование эффективности гидрофобизирующей добавки и суперпластификатора для повышения водостойкости гипса.
2. Влияние пластифицирующей добавки на свойства гипса.
3. Эффективность замедлителя схватывания гипса.
4. Влияние степени наполнения гипса минеральным порошком на свойства смешанного вяжущего.
5. Влияние минеральной добавки на свойства воздушной извести.
6. Влияние опоки и суперпластификатора на свойства цемента.
7. Свойства цемента, наполненного известняковой мукой.
8. Влияние процедуры введения многокомпонентной химической добавки на свойства цемента.
9. Исследование эффективности водоредуцирующих добавок в композиционных цементах.
10. Зависимость свойств цемента от состава и расхода комплексных минеральных добавок и суперпластификатора.
11. Влияние тонкости измельчения золы-уноса ТЭС на свойства композиционного портландцемента.
12. Исследования температурной зависимости прочности композиционного портландцемента.
13. Усадочные деформации портландцемента с инертной минеральной добавкой.
14. Влияние дисперсности и расхода минеральных добавок на свойства цемента.
15. Исследование совместности суперпластификатора с минеральной добавкой в цементе.
16. Оптимизация гранулометрии цемента и минеральной добавки.
17. Влияние совместного использования суперпластификатора и ускорителей твердения на кинетику твердения в начальные сроки.

18. Характеристики шлакопортландцемента в зависимости от дисперсности и расхода шлака.

19. Влияние температуры тепловлажностной обработки на прочность шлакопортландцемента.

20. Исследование свойств минерально-шлакового вяжущего.

21. Исследование эффективности гидрофобизирующей добавки для повышения водостойкости минерально-шлакового вяжущего.

22. Влияние условий эксплуатации на свойства геосинтетического вяжущего.

23. Зависимость свойств бесклинкерных вяжущих от условий твердения.

24. Исследование усадочных деформаций геошлаковых вяжущих.

24. Стойкость минерально-шлакового вяжущего к циклическому насыщению и высушиванию.

При выборе темы учитываются потребности студента в определенных знаниях и умениях, необходимых для подготовки выпускной квалификационной работы бакалавра, если ее тема согласована с будущим руководителем. Кроме того, если известно предполагаемое место работы студента после завершения его обучения в вузе, при назначении темы следует уделить внимание более полному формированию тех компетенций, которые будут в первую очередь необходимы при выполнении выпускником его должностных обязанностей. Студент может предложить и обосновать тему курсового проекта, отличную от приведенных.

Курсовая работа может быть подготовлена в форме комплексной работы, состоящей из нескольких взаимосвязанных частей. Комплексная курсовая работа, в зависимости от сложности, выполняется 2-4 студентами. При этом каждая часть комплексной работы должна иметь законченный характер, а курсовая работа каждого студента оформляется и оценивается индивидуально.

После утверждения преподавателем выбранной темы студенту выдается бланк задания, в котором указываются тема курсовой работы, ее содержание и график выполнения.

## 1.2. Подбор литературы, необходимой для выполнения курсовой работ

Современные информационные источники по технологии производства и применения вяжущих, необходимые для выполнения курсовой работы, разнообразны по полноте представленных в них сведений, а также их достоверности. Развитие информационных технологий и полиграфической отрасли привело к многократному увеличению доступной научной и научно-технической информации. При подборе литературы для выполнения



курсовой работы необходимо хорошо ориентироваться в многообразии источников.

Информационные источники можно разделить на следующие группы:

- учебная литература;
- нормативная литература;
- справочная литература;
- научные и научно-технические журналы;
- материалы научных и научно-технических конференций;
- информационные источники в глобальной сети Интернет.

Учебники и учебные пособия по курсам «Вязущие вещества», «Технология вяжущих веществ», «Химия вяжущих веществ» относятся к литературным источникам, в которых содержатся только проверенные сведения о технологии, свойствах и применении вяжущих, а также строительных материалов и изделий на их основе.

Высокая достоверность информации в учебных пособиях и особенно в учебниках связана с тем, что их авторами являются признанные специалисты, а содержание этих изданий на стадии подготовки подвергается рецензированию. К сожалению, новые учебники по курсу «Вязущие вещества» редко издаются. Но несмотря на значительный «возраст» этой литературы, ее ценность очень высока, так как знания в технологии вяжущих устаревают очень медленно. В связи с этим рекомендуется начать изучение литературы с общепризнанных учебников и учебных пособий.

Справочные издания содержат сведения о технологии производства и использовании вяжущих, а также их свойствах. Информация в справочниках также имеет высокую достоверность.

К нормативной литературе относятся государственные стандарты – ГОСТ, стандарты предприятия (СТП), строительные правила (СП), строительные нормы и правила (СНиП) и др. Получить доступ к этим материалам можно через системы «Гарант», «Кодекс» и др.

Из научных и научно-технических журналов, в которых рассматриваются проблемы производства и применения вяжущих, могут быть рекомендованы следующие периодические издания: «Строительные материалы», «Цемент и его применение», «Известия вузов. Строительство», «Региональная архитектура и строительство». Эти журналы имеются в библиотеке Пензенского ГУАС.

Кроме того, почти все университеты строительного профиля издают свои журналы, например: «Вестник КазГАСУ» (Казанский государственный архитектурно-строительный университет), «Вестник ВГАСУ» (Воронежский государственный архитектурно-строительный университет) «Вестник МГСУ» (Московский государственный строительный университет). Эти и другие журналы доступны на сайтах издающих их университетов.

Статьи в журналах можно разделить на две группы: к первой группе относятся научные статьи, то есть статьи, в которых излагаются результаты научных (в основном экспериментальных) исследований, ко второй – обзорные и аналитические статьи.

Ежегодно проводится несколько конференций по технологии строительных материалов. На этих конференциях делаются доклады, посвященные различным аспектам производства и применения вяжущих веществ. Ознакомиться с содержанием этих докладов можно в материалах конференций, которые раздаются только участникам конференций, но часто организаторы выкладывают сборники на сайтах. В связи с тем, что статьи в материалах конференций не подвергаются рецензированию, достоверность информации, которая в них содержится, ниже, чем в журнальных статьях.

Содержащаяся в открытом доступе в сети Интернет информация многократно превышает по объему и доступности все остальные источники. Эту информацию можно разделить по достоверности на две группы. К первой группе относятся выложенные в сети учебники, научные статьи, нормативная и справочная литература. Эти материалы дублируют печатные издания и поэтому можно считать, что они содержат достоверную информацию. Ко второй группе относятся рекламно-информационные материалы, материалы различных форумов и т.п. Достоверность информации, которая содержится на этих сайтах, практически никем не проверялась, она может содержать ошибочные сведения, поэтому к этой информации нужно относиться критически.

В сети Интернет имеется несколько сайтов, которые содержат большой объем научно-технической информации. Ниже приводится краткая характеристика этих сайтов.

Информационная система *«Единое окно доступа к образовательным ресурсам»* предоставляет свободный доступ к каталогу образовательных интернет-ресурсов и полнотекстовой электронной учебно-методической библиотеке для общего и профессионального образования. Получить доступ к этой системе можно по адресу: <http://window.edu.ru/>.

Крупнейшая в России электронная библиотека научных публикаций eLIBRARY.RU предлагает широкие возможности поиска и получения информации. На сегодня подписчикам eLIBRARY.RU доступны полнотекстовые версии около 4000 иностранных и 3900 отечественных научных журналов. Свыше 2800 российских научных журналов размещены в бесплатном открытом доступе. Для доступа к остальным изданиям можно подписаться или заказать отдельные публикации.

Российская государственная библиотека (rsl.ru) – крупнейшая публичная библиотека в России. Библиотека имеет сайт, на котором возможны поиск и заказ литературы.

КиберЛенинка (CyberLeninka.ru) – российская научная электронная библиотека, построенная на концепции открытого оперативного полнотекстового доступа к научным публикациям в электронном виде.

В информационно-поисковой системе сайта Федерального института промышленной собственности ([www1.fips.ru](http://www1.fips.ru)) возможен поиск изобретений в базе патентных документов Российской Федерации, выданных за последние 20 лет.

### 1.3. Разработка и согласование плана курсовой работы

Целью составления плана работы является установление логической последовательности изложения материала, разработка системы аргументации выводов и рекомендаций, которые должны быть сформулированы по результатам работы.

После изучения литературы по заданной теме следует определить цель и задачи работы, которые необходимо решить для достижения цели. Затем рекомендуется составить развернутый план курсовой работы, в котором должны быть отражены ключевые элементы работы и взаимосвязь между ними.

Курсовая работа состоит из введения, основной части, разбитой на три-четыре раздела (которые также делят на подразделы и пункты), заключения и списка использованных источников (списка литературы), а при необходимости – одного или нескольких приложений.

Курсовая работа, выполненная на основе экспериментального исследования, обычно состоит из трех основных разделов:

- литературного обзора исследуемой проблемы, на основе которого делаются выводы об актуальности исследования и его методах;
- описания методов и материалов, использованных в исследовании;
- результатов исследования и их обсуждения.

На основании полученных в исследовании выводов должны быть сделаны общие выводы и рекомендации по работе.

После разработки плана курсовой работы и согласования его с руководителем переходят к подготовке разделов работы. При написании текста работы ее план можно корректировать после получения новой информации по изучаемой теме.

### 1.4. Оформление курсовой работы

Пояснительная записка должна иметь следующую структуру:

- титульный лист;
- задание на выполнение курсовой работы;
- содержание;

- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Титульный лист – первый лист пояснительной записки. Он оформляется в соответствии с примером, приведенным в приложении. После титульного листа в пояснительной записке следует задание на выполнение курсовой работы, подписанное руководителем. Задание содержит следующие разделы: исходные данные, состав работы, календарный план ее выполнения.

После задания следует содержание пояснительной записки с указанием номеров страниц, в котором указываются названия разделов и подразделов.

Введение должно содержать анализ современного состояния изучаемой темы, обоснование актуальности выполнения работы. Необходимо четко сформулировать предмет, цели и задачи аналитического или экспериментального исследования. Во введении следует показать значение темы работы для совершенствования технологии вяжущих и строительных материалов на их основе.

Содержание основной части пояснительной записки курсовой работы определяется заданием на ее выполнение. Каждый раздел рекомендуется заканчивать выводами. На основании материала основной части необходимо сделать общие выводы и заключение, которые оформляются как раздел работы.

Текст основной части пояснительной записки разбивается на разделы, подразделы. Каждый раздел пояснительной записки начинается с новой страницы. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов и подразделов.

Текст работы набирается шрифтом Time New Roman размером 14 пт. Межстрочный интервал – 1,5. Абзацный отступ – 1 см. Поля: правое и верхнее – 1 см, левое и нижнее – 2,5 см.

В тексте пояснительной записки должны содержаться ссылки на источники информации (нормативные документы, книги, статьи, патентные документы и др.). Они следуют в тексте сразу после упоминания. Ссылки на источники в виде их номеров в библиографическом списке указывают в квадратных скобках (например [7]).

Страницы пояснительной записки должны иметь сквозную нумерацию. Первой страницей записки считается титульный лист, а второй – задание, но на них номера страниц не проставляются. Номера страниц начинают указывать на странице «содержание», на которой проставляется номер «3» (см. пример пояснительной записки в приложении).

В основной части курсовой работы должны содержаться рисунки, таблицы и ссылки на литературу.

Все рисунки и таблицы нумеруют в пределах каждого раздела. Такая нумерация состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка или таблицы. Например: Рисунок 2.3, Таблица 2.1. При необходимости они могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст, название таблицы).

Например:

Рисунок 1.3 – Схема процесса коррозии.

Таблица 3.2 – Методы снижения риска коррозии.

Если число рисунков и таблиц невелико или они содержатся не в каждом разделе, возможно использование сплошной нумерации.

Рисунки и таблицы помещаются сразу после абзаца, в котором они упоминаются. Если таблица или рисунок не помещаются на оставшемся за этим абзацем месте на странице, то рекомендуется перенести их на следующую страницу. Крупные рисунки, занимающие больше половины страницы, и таблицы, занимающие несколько страниц, следует поместить в приложение.

В заключении курсовой работы должны содержаться выводы по результатам выполненной работы, предложения по их использованию в производственной практике.

Список использованных источников помещается после основного текста курсовой работы. Документ, включенный в список, должен быть описан в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1 – 2003. Литература в списке может располагаться в алфавитном порядке или в порядке размещения ссылок в тексте.

При выполнении курсовой работы появляется материал, который усложняет понимание основной части работы. Это может быть большое количество однотипных иллюстраций, числовых данных и т.д., которые целесообразно поместить в приложения к курсовой работе.

## 2. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВЫХ РАБОТ

Пример выполнения и оформления курсовой работы на тему «Щелочная коррозия бетона» приведен в приложении.

Актуальность этой темы в последние годы возрастает. Несмотря на то, что проблема щелочной (внутренней) коррозии бетона исследуется уже давно и механизм этого вида разрушения бетона достаточно ясен, количество выявленных случаев разрушения бетона от этого вида коррозии с каждым годом не снижается. Это связано с тем, что специалисты, занимающиеся выбором сырьевых материалов на предприятиях строительной индустрии по различным причинам не уделяют достаточного внимания совместимости заполнителя и цемента с позиции развития щелочно-силикатных реакций. Такое положение приводит к повышению риска развития щелочной коррозии бетона.

В учебной литературе излагаются основные сведения о причинах внутренней коррозии бетона, однако эта информация дает ответы далеко не на все вопросы, возникающие на производстве. Большой объем информации содержится в научно-технической литературе: монографиях, научных статьях, материалах конференций и др. Эта информация имеет несистематизированный характер и поэтому ее анализ связан со значительными трудностями. Выполнение курсовой работы на эту тему позволит студенту не только получить знание научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по проблемам коррозии бетона, но и получить навыки аналитической работы.

### 3. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа – это самостоятельное исследование какой-либо актуальной проблемы производства и применения вяжущих веществ. Несмотря на то что работа выполняется студентом самостоятельно, качество и сроки ее подготовки отдельных разделов контролирует руководитель проекта.

К курсовой работе предъявляются определенные требования по ее содержанию. Теоретическое или аналитическое исследование не должно подменяться компиляцией известных фактов и выводов. В курсовой работе, как правило, используется известный фактический материал. Однако на основе этого материала должны быть выявлены новые закономерности, предложены пути совершенствования технологии вяжущих, установлены новые зависимости и закономерности, а также способы более эффективного применения вяжущих в технологии строительных материалов на их основе.

В курсовой работе, выполненной в виде экспериментального исследования, не должно содержаться простого эмпирического подтверждения известных фактов. Очевидно, что получить новые результаты о свойствах цемента, гипса или других хорошо изученных вяжущих для студента очень сложно. Однако данные о влиянии минеральной добавки, полученной на основе местного материала, на свойства цемента или особенностях твердения портландцемента недавно запущенного в эксплуатацию Никольского цементного завода для студенческой исследовательской работы можно считать достаточно новым.

В работе должны быть аргументированно рассмотрены и решены поставленные задачи. Текст работы должен быть написан самостоятельно в результате проработки литературного или экспериментального материала. Необходимо логично излагать вопросы темы, не допускать повторений или противоречий.

Важным показателем качества выполнения курсовой работы является соответствие ее оформления установленным требованиям. Следует помнить, что небрежно оформленная пояснительная записка, с большим количеством исправлений, неправильно оформленные таблицы, рисунки, список использованных источников воспринимаются как наспех выполненная работа, содержание которой даже внешне не соответствует уровню требований, предъявляемым к курсовым работам.

## 4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В ходе выполнения студентом курсовой работы руководитель контролирует содержание ее разделов в установленные сроки. При необходимости он делает замечания, которые должны устраняться.

Курсовая работа после написания передается руководителю для проверки. Если она соответствует установленным требованиям, руководитель курсовой работы передает ее студенту с замечаниями, которые необходимо учесть при доработке работы. По результатам проверки руководитель выставляет предварительную оценку студенту за курсовую работу с учетом ее содержания и качества оформления.

Если работа не соответствует заданию или качество ее выполнения не соответствует требованиям, то студенту предоставляется право сменить тему или переработать прежнюю работу.

При оценке качества выполнения работы учитываются следующие факторы:

- соответствие содержания теме;
- наличие ошибок и неточностей;
- полнота проработки вопросов, научная новизна;
- обоснованность выводов и заключений;
- практическая значимость;
- качество оформления работы;
- соответствие сроков выполнения установленному графику.

Заключительным этапом оценки качества выполнения курсовой работы является ее защита. К защите допускаются только работы прошедшие проверку руководителем после устранения выявленных недостатков.

Защита проводится публично, в учебной группе. Студенту предоставляется 5-7 мин для изложения целей, задач работы, материалов основных разделов, выводов и заключений. После доклада студент отвечает на замечания и вопросы руководителя проекта и присутствующих на защите. При защите оценивается степень изученности студентом вопросов, связанных с темой курсовой работы. По умению отвечать на заданные вопросы можно судить о прочности полученных при выполнении работы знаний. При возникновении спорных вопросов студент должен защищать изложенный материал и свое мнение.

Оценка, выставляемая преподавателем за курсовую работу, является комплексной, учитывающей глубину материала, соответствие оформления пояснительной записки установленным требованиям, ответы на вопросы, заданные в ходе защиты работы.



# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Основная литература

1. Калашников, В.И. Вяжущие вещества [Текст]: учеб. пособие / В.И. Калашников, М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина. – Пенза: ПГУАС, 2014. 80 с.
2. Сулименко, Л.М. Основы технологии вяжущих материалов [Текст]: учеб. пособие / Л.М. Сулименко, В.Г. Савельев, И.Н. Тихомирова. – М.: РХТУ, 2001.– 167 с.
3. Русина, В.В. Минеральные вяжущие вещества на основе многотоннажных промышленных отходов [Текст]: учеб. пособие / В.В. Русина. – Братск: БрГУ, 2007. – 224 с.
4. Ерошкина, Н.А. Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов на основе минерально-щелочных и геополлимерных вяжущих [Текст]: учеб. пособие / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 156 с.

## Дополнительная литература

1. EN 197–1:2000. Цементы. Часть 1: Состав, технические требования и критерии соответствия обычных цементов (Cement – Part 1: Composition, specifications and conforming criteria for common cements) [Текст].
2. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников.– М.: Стройиздат, 1979.
3. Глуховский, В.Д. Шлакощелочные вяжущие и бетоны [Текст] / В.Д. Глуховский. – Киев: Будивельник, 1978. – 280 с.
4. Глуховский, В.Д. Шлакощелочные цементы и бетоны [Текст] / В.Д. Глуховский, В.А. Пахомов. – Киев: Будивельник, 1978. – 184 с.
5. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия [Текст]. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008. 8 с.
6. ГОСТ 125–79\*\*. Вяжущие гипсовые. Технические условия [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1979. 5 с.
7. ГОСТ 22688–77. Известь строительная. Методы испытаний [Текст]. – М.: ИКП Издательство стандартов, 1997. 20 с.
8. ГОСТ 23789–79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1979. 15 с.
9. ГОСТ 24211–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия [Текст]. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2010. 15 с.
10. ГОСТ 24640–91. Добавки для цементов. Классификация [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1981. 6 с.
11. ГОСТ 25094–94. Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1996. 12 с.

12. ГОСТ 25095–82. Добавки активные минеральные. Методы испытаний [Текст]. – М.: ИКП Изд-во стандартов, 1981. 6 с.
13. ГОСТ 26871–86. Материалы вяжущие гипсовые. Правила приемки. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. 12 с.
14. ГОСТ 30515–2013. Цементы. Общие технические условия [Текст]. – М.: ФГУП ЦПП. 2014. 38 с.
15. ГОСТ 30744–2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка [Текст]. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 30 с.
16. ГОСТ 310.1–76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения [Текст]. – М.: ИКП Изд-во стандартов, 2003. 3 с.
17. ГОСТ 310.2–76. Цементы. Методы определения тонкого помола [Текст]. – М.: ИКП Изд-во стандартов, 2003. 3 с.
18. ГОСТ 310.3–76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема [Текст]. – М.: ИКП Изд-во стандартов, 2003. 3 с.
19. ГОСТ 310.4–81. Цементы. Методы определения пределов прочности при изгибе и сжатии [Текст]. – М.: ИКП Изд-во стандартов, 2003. 12 с.
20. ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия [Текст]. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. 26 с.
21. ГОСТ 3476–74. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов [Текст]. – М., 1974.
22. ГОСТ 4013–82. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия [Текст]. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008. – 6 с.
23. ГОСТ 9179–77\*. Известь строительная. Технические условия [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2001. 7 с.
24. Ерошкина, Н.А. Методы оценки и повышения долговечности геополлимерных строительных материалов на основе промышленных отходов [Текст]: учеб. пособие / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 120 с.
25. Ерошкина, Н.А. Минерально-щелочные вяжущие [Текст]: моногр. / Н.А. Ерошкина, В.И. Калашников, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 152 с.
26. Коровкин, М.О. Эффективность суперпластификаторов и методология ее оценки [Текст]: моногр. / М.О. Коровкин, В.И. Калашников, Н.А. Ерошкина – Пенза: ПГУАС, 2012. – 142 с.
27. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих веществ [Текст]/ Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
28. Пашенко, А.А. Вяжущие материалы [Текст]/ А.А. Пашенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская. – Киев: Вища школа, 1975. – 440 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»

Кафедра «Технологии строительных материалов и деревообработки»

## **Пояснительная записка**

к курсовой работе

**по дисциплине «Вяжущие вещества»**

на тему

**Щелочная коррозия бетона**

Автор работы: В.С. Иванов

Направление: «Строительство»

Направленность: Производство строительных материалов и изделий

Обозначение: КР-69059-080301-103716-2016 Группа: СТР-31

Руководитель работы: А.Б. Петров

Работа защищена: \_\_\_\_\_ Оценка \_\_\_\_\_

Пенза 2016

Продолжение приложения  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И ДЕРЕВООБРАБОТКИ

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

по курсу  
«Вяжущие вещества»

Студент Иванов В.С.          Группа Стр-35

1. Тема Щелочная коррозия бетона

---

2. Срок представления к защите: « 16 » мая 2016 г

3. Содержание пояснительной записки:

Введение

1. Механизм щелочной коррозии

2. Методы исследования

реакционной способности заполнителей и цемента

3. Способы предотвращения щелочной

коррозии бетона

---

---

Заключение

Перечень использованных источников.

Руководитель проекта: 24.03.16 А.Б. Петров

подпись, дата, инициалы, фамилия

Задание принял: \_\_\_\_\_

подпись, дата

Сроки выполнения проекта

30 % – 2.4.16

100 % – 8.5.16

70 % – 23.4.16

Сдача проекта – до 16.5.16

## Содержание

	с.
Введение	4
1. Механизм щелочной коррозии	6
1.1. Проявление щелочной коррозии бетона	6
1.2. Реакционная способность заполнителя по отношению к щелочам	8
1.3. Деструктивные процессы при щелочно-силикатных реакциях в бетоне	11
2. Методы исследования реакционной способности заполнителей и цемента	14
2.1. Минерало-петрографический анализ горных пород	14
2.2. Химический анализ реакционной способности заполнителя по отношению к щелочам	15
2.3. Ускоренный метод определения реакционной способности заполнителя по деформациям мелкозернистого бетона	15
2.4. Определение реакционной способности заполнителя в бетоне	18
3. Способы предотвращения щелочной коррозии бетона	21
3.1. Использование активных минеральных добавок	21
3.4. Применение соединений лития для снижения щелочной коррозии	26
Заключение	29
Перечень использованных источников	30

КР-69059-080301-103716-2016

Лист

3

## Введение

Повышение долговечности строительных материалов – одно из важнейших направлений ресурсосбережения в строительстве. Увеличение сроков эксплуатации строительных конструкций и материалов, а также продолжительности межремонтных периодов позволяет значительно снизить потребность в материальных ресурсах на стадии эксплуатации зданий и сооружений.

Коррозионные процессы, возникающие в цементном камне при определенных условиях, обуславливают снижение эксплуатационных характеристик. Способность структуры бетона противостоять действию коррозионных процессов определяет срок его эксплуатации в большей степени, чем силовое воздействие на железобетонные конструкции. В связи с этим предотвращение различных видов коррозии бетона – основное направление повышения долговечности этого строительного материала.

Щелочная коррозия бетона – один из наименее изученных и непредсказуемых видов коррозии. В отличие от других видов коррозии бетона, которые обусловлены поступлением коррозионных агентов в поровое пространство цементного камня, щелочную коррозию бетона невозможно замедлить за счет изоляции его от вредного воздействия окружающей среды. Этот вид коррозии развивается за счет взаимодействия двух компонентов бетона – щелочей, содержащихся в цементе, и активного кремнезема заполнителя, поэтому щелочную коррозию иногда называют внутренней коррозией.

Исчерпание месторождений заполнителя с низким содержанием активного кремнезема приводит к тому, что случаи щелочной коррозии регистрируются все чаще. Однако по экономическим причинам объемы использования такого заполнителя возрастают. Одной из причин увеличения случаев внутренней коррозии является применение высокоэффективных водоредуцирующих добавок, которые значительно снижают капиллярную пористость цементного камня и его проницаемость для образующегося щелочно-силикатного геля, в результате возрастает вероятность повышения внутренних растягивающих напряжений и разрушения цементного камня.

При выборе сырья и проектировании состава бетона необходимо учитывать факторы, обуславливающие риск внутренней коррозии. Несмотря на то что общие представления о механизме щелочной коррозии бетона известны еще с начала сороковых годов прошлого века и существует несколько стандартизированных методик оценки потенциала коррозионного разрушения, сегодня не всегда удается прогнозировать риск развития внутренней коррозии.

## Продолжение приложения

В ряде случаев, несмотря на то что цемент содержит более 0,6 % щелочи и в заполнителе содержится аморфный или скрытокристаллический кремнезем, деструктивные процессы не развиваются, а иногда в бетонах, приготовленных на не вызывающем опасений сырье, происходит коррозионное разрушение.

Сегодня еще не разработан государственный стандарт или другой нормативный документ, регламентирующий методы защиты бетона от щелочной коррозии, однако работа в этом направлении ведется, сложность которой заключается в недостаточно полном понимании всех процессов внутренней коррозии. Очевидно, что основные усилия по разработке системы мер по предотвращению щелочной коррозии должны быть направлены на совершенствование методов оценки реакционной способности заполнителя с щелочами цементного камня, исследование влияния минеральных и химических добавок на процессы внутренней коррозии. Важным условием успешности этой работы является систематизация имеющейся информации о различных аспектах взаимодействия в бетоне щелочи с кремнеземом.

В настоящей курсовой работе представлены результаты аналитического исследования различных аспектов щелочной коррозии, в частности механизма этого процесса, методик его прогнозирования, выявления факторов, определяющих интенсивность деструктивных коррозионных процессов. Особое внимание уделено снижению риска возникновения щелочной коррозии в бетоне за счет применения минеральных добавок.

<i>Лист</i>
-------------

5
---

## 1. Механизм щелочной коррозии

### 1.1. Проявление щелочной коррозии бетона

Процесс щелочной коррозии развивается медленно. Его признаки могут проявляться через несколько месяцев или лет после производства бетона. Внешними признаками щелочно-силикатных реакций, по данным [1], являются выкрашивание бетона (рис. 1а) и воронкообразное отслаивание кусков бетона вблизи зерен реакционноспособного заполнителя (рис. 1б).

На поверхности бетона может появиться сетка нерегулярных трещин, которые постепенно увеличиваются в глубину и ширину, что приводит к разрушению бетонов (рис. 1в). Из трещин может выступать вязкий прозрачный щелочно-силикатный гель, который со временем постепенно мутнеет, а затем высыхает, образуя усадочные трещины (рис. 1г).

Иногда на бетоне образуются пятна высолов, которые представляют собой продукты карбонизации щелочно-силикатного геля. Но высолы часто не наблюдаются на открытых поверхностях бетона благодаря тому, что карбонаты обычно смываются атмосферными осадками.

В результате щелочной коррозии вследствие увеличения объема может происходить смещение конструкций друг относительно друга (рис. 1д).

На основе перечисленных выше признаков нельзя сделать однозначный вывод о развитии в бетоне щелочно-силикатных реакций. Такие деструктивные процессы могут протекать и при других видах коррозии. Вид коррозии можно установить по результатам комплексных исследований.

Сходные проявления могут иметь и другие виды коррозии, например сульфатная коррозия. Определить вид коррозии можно по характеру микротрещин. При щелочно-силикатных реакциях трещины направлены радиально от частицы реакционного заполнителя в глубь цементно-растворной части бетона; часто трещины пронизывают саму частицу реакционного заполнителя и имеют продолжение в растворной части. Трещины могут быть заполнены характерным гелеобразным продуктом реакции (рис. 1е). Конструктивные особенности бетонного сооружения, а также особенности его нагружения влияют на характер распространения трещин. На изделиях из напряженного железобетона трещины в основном располагаются вдоль элементов арматуры (рис. 1ж), так как напряжения сжатия препятствуют росту поперечных трещин в бетоне. На дорожных покрытиях из бетона трещины, обусловленные щелочно-силикатными реакциями, имеют продольное направление, а не поперечное.



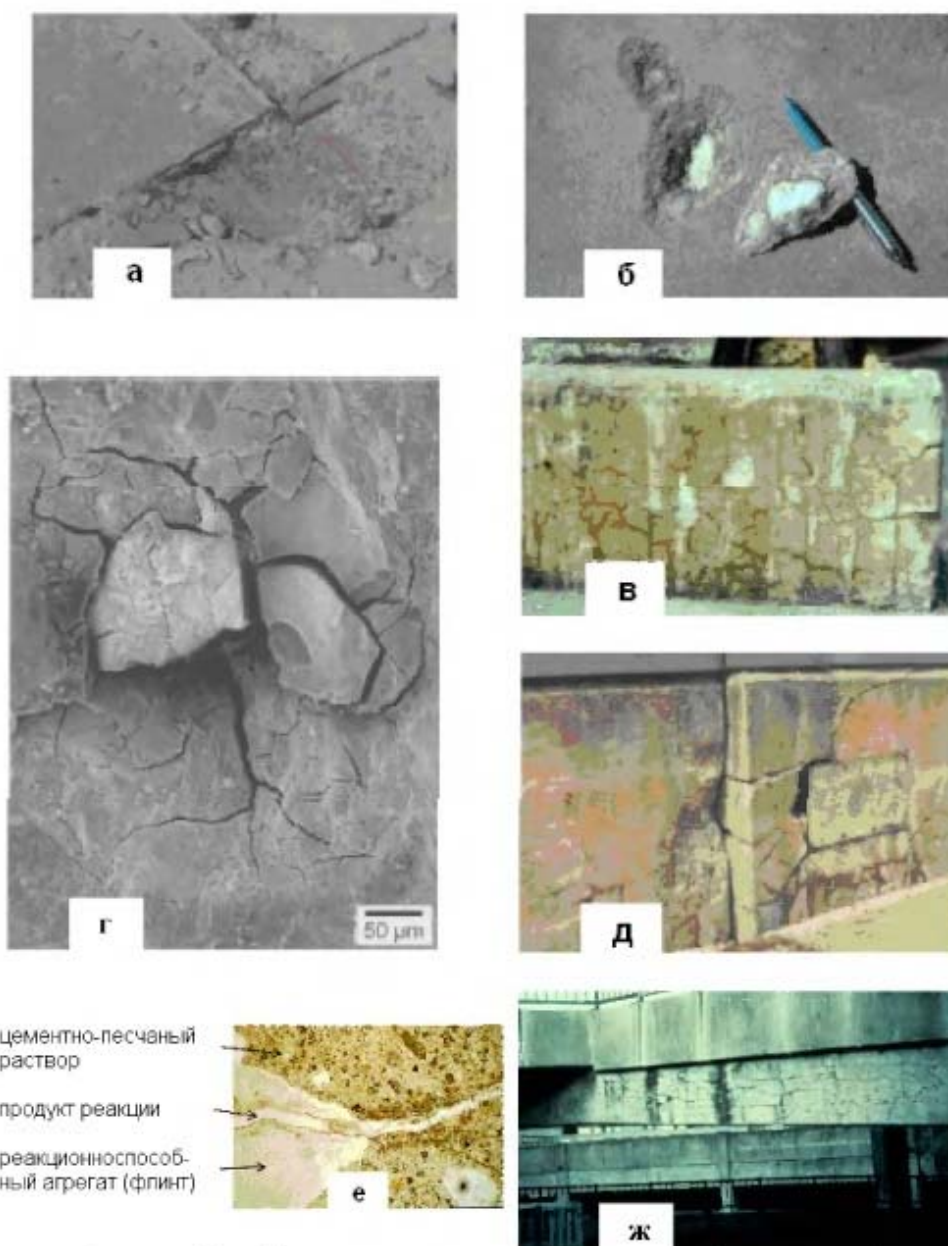


Рис. 1. Примеры разрушения бетона в результате щелочной коррозии (пояснения в тексте)

Часто бетон разрушается в результате развития в нем нескольких видов коррозии. Например, на начальном этапе возникают трещины под действием щелочной коррозии, а на заключительном этапе разрушение бетона происходит за счет морозного воздействия, локализованного в местах образовавшихся трещин.

## 1.2. Реакционная способность заполнителя по отношению к щелочам

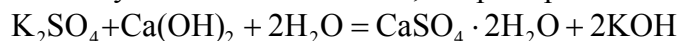
Интенсивность взаимодействия щелочей цемента с активным кремнеземом заполнителя зависит от его реакционной способности. Эта способность определяется содержанием в заполнителе потенциально активных минералов. ГОСТ [22] содержит перечень горных пород и минералов, способных взаимодействовать с щелочами цемента (табл. 1).

Таблица 1. – Потенциально активные минералы и горные породы, их содержащие

Минерал и вид кремнезема	Виды потенциально реакционноспособных пород	Минимальное содержание минерала, % по массе, при котором возможна щелочная коррозия бетона
Опал	Базальты и другие лавы. Известняки, роговики, сланцы опаловидные	0,25
Кристобалит, тридимит, кристаллические	Расплавы, состоящие из кремнезема (материалы, полученные плавлением)	1,0
Кварц выветрелый деформированный	Кварцевые витрофиры, кварциты, песчаники, вулканические и метаморфические кислые породы	3,0
Стекло кислое аморфное	Обсидианы, перлиты, липариты, дациты, андезитодациты, андезиты, туфы и аналоги этих пород, имеющие стекловидную основу	3,0
Халцедон криптомикрорекристаллический	Кремни, известняки, доломиты, песчаники с опалохалцедоновым и халцедонокварцевым цементом, яшмы, роговики	5,0

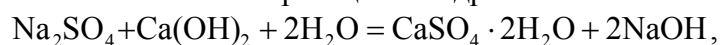
В работе [20] отмечается, что потенциально реакционноспособным является диоксид кремния в аморфной, скрытокристаллической форме и с деформированной кристаллической решёткой. Горные породы, содержащие эти минералы, могут быть как осадочного, так и метаморфического или изверженного происхождения (табл. 2).

Щелочные соединения могут присутствовать в клинкере в виде  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , двойного сульфата  $3\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ . После смешивания цемента с водой хорошо растворимые сульфаты натрия и калия вступают в обменные реакции, в результате которых сульфат-ион входит в состав соединений с низкой растворимостью, а в поровой жидкости появляются гидроксид-ионы, количество которых эквивалентно количеству щелочных катионов, например:



При гидратации минералов цементного клинкера до 70 % щелочи переходит в жидкую фазу, а оставшаяся часть входит в структуру гидратных новообразований.

Использование в качестве ускоряющих и противоморозных добавок солей, таких, как  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и др., приводит к повышению щелочности цементного камня из-за обменных реакций с гидролизной известью, например:



В качестве источников щелочей или солей, способных вызвать их образование в бетоне, могут выступать промышленные сточные воды, противогололедные препараты, морская и минерализованная грунтовая вода. Инфильтрация этих вод в поровое пространство бетона может привести к внутренней коррозии даже при низком содержании щелочи в цементе.

В результате высвобождения ионов  $\text{Na}$  и  $\text{K}$  из клинкера через несколько недель с момента начала гидратации концентрация  $\text{Na}_2\text{O}_e$  в поровой жидкости (щелочность) достигает примерно 0,7 моль/л на каждый %  $\text{Na}_2\text{O}_e$  (при В/Ц 0,5), при этом рН достигает значений 13-14. Присутствие щелочных соединений снижает растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и концентрацию ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в поровой жидкости в соответствии с законом произведения растворимости:

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{\text{НР}_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{\gamma_{\text{Ca}^{2+}} \cdot \gamma_{\text{OH}^-}^2 \cdot [\text{OH}^-]^2},$$

где  $\text{НР}_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$  – произведение растворимости  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $\gamma_{\text{Ca}^{2+}}$ ,  $\gamma_{\text{OH}^-}$  – коэффициенты активности ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$ ;  $[\text{OH}^-]$  – концентрация ионов  $\text{OH}^-$ , в поздний период гидратации можно принять  $[\text{Na}^+ + \text{K}^+] \approx [\text{OH}^-]$ .

Это имеет важные следствия в отношении физико-химических характеристик основного продукта гидратации (C-S-H-геля) – его состава и морфологии, от которых в значительной степени зависят механические свойства затвердевшего цементного теста. Присутствие ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  в высоких концентрациях, как известно, снижает конечную прочность цементного камня. В случае, если цемент является единственным источником поступления щелочей в бетон, их содержание можно выразить в виде содержания  $\text{Na}_2\text{O}^{\ominus}$  в  $1 \text{ м}^3$  бетона, которое рассчитывается по формуле

$$\text{Na}_2\text{O}^{\ominus} = \frac{\text{Na}_2\text{O}_{\text{ЦЦ}}^{\ominus}}{100},$$

где  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Ц}}^{\ominus}$  – содержание щелочей в цементе, масс %; Ц – расход цемента,  $\text{кг/м}^3$  бетона.

Эта величина в настоящее время используется в зарубежных методиках для оценки риска возникновения щелочной коррозии, так как она более точно характеризует количество щелочи, способной вступить в реакцию, в отличие от традиционно используемого процентного содержания щелочи в цементе.

Для снижения опасности развития щелочно-силикатных реакций рекомендуется использовать добавки, не содержащие щелочные соединения. Основным источником щелочей в бетоне, как показывают исследования, служит заполнитель, при введении которого количество высвобождаемого  $\text{Na}_2\text{O}^{\ominus}$  в несколько раз может превосходить количество щелочи из цемента.

Основными неограниченными внешними источниками щелочей в бетоне являются морская вода и антигололедные препараты. Морская вода существенно повышает значение pH поровой жидкости в бетоне.

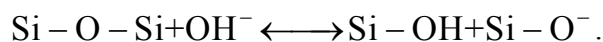
Расход антигололедных препаратов зависит от географических особенностей и дорожного хозяйства страны. В Великобритании расход каменной соли составляет 1-2 т/км дороги в юго-западной части страны, для Северной Англии и Шотландии – 10 т/км. В связи с этим бетонные дороги и мосты относят к категории сооружений высокого риска развития щелочной коррозии.

Ранее считалось, что для предотвращения развития щелочных реакций в бетоне содержание щелочей в цементе должно быть не более 0,6 масс% в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$ . Однако при таком подходе не учитывались внешние источники поступления щелочи.

В настоящее время используется более корректный критерий, учитывающий общее содержание щелочных оксидов (как из внешних, так и из внутренних источников). Согласно этому критерию общее содержание щелочных оксидов должно быть не более 3 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона в пересчете на Na<sub>2</sub>O. При более высоком содержании оксидов за счет поступления щелочных соединений из внешних источников может возникнуть опасность щелочно-силикатных реакций, инициаторами которых являются щелочи, поступающие из цемента. При испытании огромного числа гидротехнических бетонных сооружений, работающих в морской воде в надводных и подводных условиях, было установлено, что из внешней среды щелочь начинает поступать после проникновения щелочи при гидратации из цемента.

### 1.3. Деструктивные процессы при щелочно-силикатных реакциях в бетоне

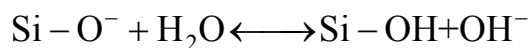
При взаимодействии щелочей, растворенных в жидкой фазе порового раствора с кремнеземом заполнителя, по данным [1], происходят деструктивные процессы расщепления силоксановых связей в заполнителе под действием гидроксид-иона по схеме



Эта реакция представляет собой деполимеризацию кремнезема заполнителя и переход кремния из состояния максимальной связности в состояние с более низкими значениями связности.

В условиях недостатка воды процесс деполимеризации приводит к разрыхлению структуры поверхности частиц заполнителя, некоторому увеличению объема поверхностного слоя, внедрению в него щелочных ионов. По мере увеличения щелочности продукт деполимеризации становится способным абсорбировать воду, и последующее увеличение его объема связано с этим процессом. Поглощая воду, материал поверхностного слоя частицы заполнителя постепенно приобретает структуру раствора, в котором накапливаются силикатные ионы разнообразного полимерного состава, появляющиеся в результате разрушения силоксановых связей.

Участие ионов OH<sup>-</sup> в процессе деполимеризации SiO<sub>2</sub> отчасти компенсируется их высвобождением в реакции гидролиза и при конденсации остатков кремниевых кислот по мере их накопления в продукте:



## Продолжение приложения

Образуемый щелочно-силикатный гидрогель в зависимости от содержания воды представляет собой вязкий гелеобразный водный раствор, состав которого представлен низкополимерными ионами кремниевых кислот и катионами натрия и калия. В состав этого продукта входит также некоторое количество ионов кальция, источником которых служит поровая жидкость; поэтому содержание кальция в продукте зависит от концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в жидкой фазе. На поверхности зерен образуются реакционные каемки, состоящие из щелочно-силикатного геля. Толщина каевок зависит от активности кремнезема заполнителя и может составлять несколько десятков мкм.

На реакционноспособных заполнителях низкой активности при развитии щелочно-силикатных реакций каемки вокруг частиц не образуются – атака поровой жидкостью происходит локализованно в тех областях, где присутствуют кристаллы деформированного кварца.

К зернам кварца, расположенным в глубине частицы, поровый раствор проникает по микротрещинам; при этом стенки трещин подвергаются эрозии и заполняются щелочно-силикатным гелем. Посредством трещин и пор гель проникает глубоко в частицу заполнителя, создавая во внутренних ее областях напряжения, приводящие к образованию новых трещин и разрушению частицы. Внешние признаки протекания щелочно-силикатных реакций в этом случае могут проявиться через несколько лет с момента создания бетона.

Зависимость расширения бетона от содержания реакционноспособных минералов в заполнителе часто имеет максимум при большом содержании реакционноспособного кремнезема, так же как и при слишком малом его содержании расширение оказывается незначительным.

При увлажнении бетона происходит набухание силикатного геля, который, увеличиваясь в объеме, оказывает давление на цементный камень (рис. 2). Гель частично вдавливаясь в поры и трещины, вызывая растягивающие напряжения в цементном камне или пористом камне. При достижении предела прочности материала эти напряжения вызывают его локальное разрушение. Продвигаясь по образовавшимся трещинам, щелочно-силикатный гель может достичь поверхности бетона, что является одним из отличительных признаков щелочной коррозии бетона (см. рис. 1г).

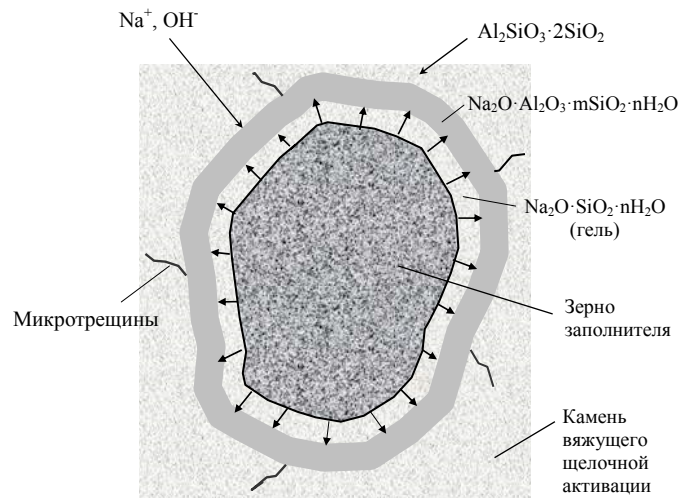


Рис. 2. Схема разрушения бетона при реакции щелочь – заполнитель [2]

В бетонах, изготовленных из смесей с низким водоцементным отношением, полученных за счет использования жестких бетонных смесей или применения водоредуцирующих добавок, риск возникновения коррозии возрастает. Это связано с высокой хрупкостью цементного камня и его низкой проницаемостью для силикатного геля.

## 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И ЦЕМЕНТА

Во многих странах используются методики исследования реакционной способности заполнителя, основанные на стандартах [58-62] Американского общества испытания материалов. Опыт применения этого стандарта оказался достаточно успешным, что позволило РИЛЕМ (Международный союз испытательных лабораторий) разработать на его основе рекомендации для оценки риска возникновения щелочной коррозии.

На основе этих рекомендаций в России разработаны методики выявления реакционноактивного заполнителя, которые включены в ГОСТ [22]. Эта методология предусматривает, как уже отмечалось в п. 1.2, четырехстадийное исследование: минералого-петрографический анализ, химический анализ, определение деформаций бетонов ускоренным методом при повышенной температуре и определение деформаций в течение одного года. Каждый последующий этап исследования выполняется, если на предыдущем этапе был получен неблагоприятный результат.

### 2.1. Минералого-петрографический анализ горных пород

В соответствии с методикой [22] содержание минералов в щебне или гравии определяют методами петрографической разборки и минералогического анализа. Петрографическую разборку выполняют визуальным осмотром зерен с помощью лупы, используя набор реактивов для минералогического анализа, а также другими, принятыми в петрографии методами.

Зерна каждой фракции заполнителя разделяют по генетическим типам: изверженные интрузивные – гранит, габбро, диорит и др.; изверженные эффузивные – базальт, андезит, липарит и др.; метаморфические – кварцит, кристаллические сланцы и др.; осадочные – известняк, доломит, песчаник, кремень и др.

При петрографической разборке [22] выделяют зерна, представленные породами и минералами, наличие которых ограничено нормативными документами на заполнитель или требует проведения специальных исследований возможности применения щебня или гравия в качестве заполнителя для различных видов бетона. К таким минералам относится активно растворимый в щелочах кремнезем (см. табл.1).

После петрографической разборки зерна каждого минерала или горной породы взвешивают и подсчитывают их содержание  $X_i$ , (в %) по формуле  $X_i = 100 m_i/m$ , где  $m_i$  – масса зерен определенной горной породы или минерала, г;  $m$  – общая масса пробы, г.



Горную породу считают потенциально реакционноспособной, если в ней содержатся минералы, в которых количество реакционноспособного кремнезема равно или превышает значение, указанное в табл. 1.

## 2.2. Химический анализ реакционной способности заполнителя по отношению к щелочам

При обнаружении в пробе горной породы минералов, список которых и процентное содержание приведены в табл. 1, определяют количество кремнезема, растворимого в 1 М растворе гидроксида натрия.

Для проведения анализа может быть использован один из двух методов [22]:

- весовой, который основан на выделении растворимого кремнезема из раствора гидроксида натрия и определении его массы;
- фотокolorиметрический, основанный на фотометрическом измерении оптической плотности окрашенной в синий цвет кремнемолибденовой гетерополикислоты.

Горная порода считается неакционноспособной по отношению к щелочам и пригодной для использования в качестве заполнителя бетонов, если содержание в ней растворимого кремнезема не более 50 ммоль/л.

## 2.3. Ускоренный метод определения реакционной способности заполнителя по деформациям мелкозернистого бетона

Этот метод позволяет более достоверно оценить последствия щелочно-силикатной реакции в бетоне. Продолжительность этого испытания – не более 1 месяца. Сокращение сроков испытания достигается за счет повышения температуры, при которой образцы выдерживаются в растворе щелочи.

Для исследований используют заполнитель с размером зерен 5-10 мм. При необходимости более крупные зерна измельчают. Затем пробу массой 3 кг измельчают и просеивают через набор стандартных сит. Для приготовления мелкозернистого бетона готовят смесь заполнителя, состоящую из следующих фракций: 2,5-5 мм – 10 %; 1,25-2,5 мм – 25,5; 0,63-1,25 мм – 25 %; 0,16-0,315 мм – 15 %.

Испытания проводят на образцах-балочках размером 25×25×254 мм, изготовленных из мелкозернистых бетонных смесей состава цемент: заполнитель в соотношении 1:2,25. Количество воды затворения подбирают опытным путем для получения расплыва смеси на встряхивающем столике в интервале от 106 до 115 мм.

## Продолжение приложения

Конструкция форм для формования образцов должна предусматривать возможность крепления реперов из нержавеющей стали. Длина образца измеряется с помощью штатива и индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Емкость с образцами закрывают крышкой и на 24 ч помещают в электропечь с регулятором поддержания температуры  $(80 \pm 1)$  °С. По истечении указанного времени образцы извлекают из электропечи и помещают каждый образец в полиэтиленовый пакет для охлаждения до температуры  $(20 \pm 5)$  °С в течение не менее 4 ч.

Величину деформации образца определяют путем измерения длины контрольного стержня и образца до и после выдержки его в растворе гидроксида натрия. Измерения проводят ежедневно в одно и то же время суток, при этом необходимо получить одиннадцать измерений деформаций.

Относительную деформацию каждого образца в соответствии с ГОСТ [22] определяют по формуле

$$\varepsilon = (l_{\tau} - l_0)/l,$$

где  $l_{\tau}$  – отсчет по индикатору после испытания в 1 М растворе гидроксида натрия на момент испытания  $\tau$ , мм;

$l_0$  – начальный отсчет по индикатору после испытания в дистиллированной воде, мм;

$l$  – база измерений, равная 254 мм.

Горные породы считают нереакционноспособными по отношению к щелочам, если в процессе испытаний величина деформации расширения образцов в растворе гидроксида натрия менее 0,1%, при условии, что последний (одиннадцатый) результат испытания отличается от трех предшествующих результатов измерений не более чем на 15%. Если деформации превышают указанные значения, то горные породы считаются потенциально реакционноспособными со щелочами и возможность использования их в качестве заполнителей для бетона определяются испытанием образцов бетона.

Важным преимуществом этой методики являются относительно короткие сроки испытания. Однако испытания ведутся при температуре 80 °С и погружении образцов в раствор щелочи, то есть в условиях, не характерных для эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций. Это может привести к ошибочным выводам о риске развития щелочной коррозии бетона, так как при повышенной температуре и поступлении в бетон щелочи реакционная способность заполнителя может быть значительно выше, чем в обычных условиях.

Лист

16

## 2.4. Определение реакционной способности заполнителя в бетоне

Данный метод основан на определении в течение одного года относительных деформаций образцов бетона, изготовленных на заполнителях, полученных из горных пород и содержащих растворимый кремнезем более 50 ммоль/л. Для исследования применяют портландцемент с определенным составом и нереакционный природный песок.

Результаты испытаний по относительным деформациям, полученные по ускоренной и длительной методикам, могут существенно различаться. Ускоренные методы дают более надежные результаты для заполнителей с высокой реакционной способностью [21], но для заполнителей с низкой реакционной способностью результаты испытаний могут быть ошибочными. Длительные испытания, как более приближенные к натурным, чем ускоренные, обеспечивают достоверные результаты.

Основное требование к цементу для этого метода – высокое содержание в нем щелочей. Если содержание щелочей в цементе в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  менее 1,5%, то при изготовлении бетонной смеси в воду затворения добавляют  $\text{NaOH}$  в количестве, обеспечивающем общее содержание щелочей 1,5% от массы цемента.

Исследуемый щебень при необходимости измельчают до максимальной крупности зерен 20 мм. Бетонная смесь изготавливается на щебне, содержащем 40 % фракции 5-10 мм и 60 % фракции 10-20 мм.

Для испытания используют образцы размером 70×70×280 мм в формах, конструкция которых предусматривает возможность крепления реперов из нержавеющей стали. Образцы изготавливают из бетонной смеси состава 1:1,4:2,6. Расход воды для приготовления смеси должен обеспечивать осадку конуса 2-4 см.

После укладки бетонной смеси в форму и уплотнения ее на лабораторной виброплощадке формы помещают в ванну с гидрозатвором. Через 2 суток образцы извлекают из форм и помещают над водой в герметически закрывающийся контейнер. В контейнере образцы устанавливают в вертикальном положении на 2-3 см над водой. Контейнер с образцами помещают на 32 ч в термостат с регулятором поддержания температуры  $(38 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

## Продолжение приложения

Первые измерения производят через 4 сут после изготовления образцов. За 16 ч до измерения контейнер переносят из термостата в помещение для остывания до комнатной температуры. Измерение производят с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Последующие замеры проводят ежемесячно в один и тот же день в течение 12 мес. с момента изготовления образцов. Между замерами образцы хранят в контейнере в термостате при температуре 38 °С.

Горную породу относят к нереакционноспособной, если последнее (двенадцатое) значение относительного удлинения не превышает 0,04%. Если относительное удлинение превышает указанное значение, применение таких заполнителей в бетоне допускается после проведения специальных исследований с учетом условий эксплуатации сооружений и при условии проведения мероприятий, предупреждающих развитие коррозии бетона.

В связи с этим наиболее достоверные результаты могут быть получены в ходе натуральных экспериментов (рис. 3).



Рис. 3. Долгосрочные испытания крупноформатных бетонных образцов в полевых условиях [1]

Применяемые в настоящее время методики характеризуются высокой трудоемкостью и продолжительностью испытания. Они могут использоваться в хорошо оснащенных лабораториях, в связи с чем на предприятиях по производству бетонных смесей и железобетонных изделий исследование заполнителя на стойкость к щелочной коррозии не получило широкого распространения. Необходимо создание новых методов определения потенциально реакционноспособных заполнителей, прогнозирования развития коррозии, а также новых способов ее устранения.

Ряд исследователей также предлагают для ускорения щелочной коррозии применять высокие температуры и дозировки щелочей. Например, использовать автоклавирование образцов-балочек в щелочных растворах при 150 °С [27], увеличивать содержание щелочей до 2,4 % (в расчете на Na<sub>2</sub>O) путем введения добавок хлоридов, сульфатов, бикарбоната или гидроксида натрия и повышать температуру до 80°С. Однако есть мнение [4], что высокие температуры могут отрицательно повлиять на результаты эксперимента. Доказано, что повышение температуры до 60 °С приводит к усилению выщелачивания, значительным потерям массы и снижению pH [22].

### 3. СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ КОРРОЗИИ БЕТОНА

#### 3.1. Использование активных минеральных добавок

Достаточно надежно установлено, что вероятность щелочной коррозии высока только при одновременном присутствии трех следующих факторов:

1. Содержание активных щелочных компонентов в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  превышает  $3 \text{ кг/м}^3$  бетона (рис. 4).

2. В бетоне присутствуют определенные виды кремнеземсодержащих заполнителей, предрасположенные к развитию щелочно-силикатных реакций на этапах, когда структура бетона уже сформировалась.

3. Бетон эксплуатируется в условиях высокой влажности (не менее 80%) или воздействия воды.

Щелочно-силикатные реакции в бетоне практически исключены, если хотя бы одно из этих условий не выполняется. На практике часто возникают ситуации, когда все вышеперечисленные факторы оказываются одновременно выполнимыми, и тогда инициирование щелочно-силикатных реакций становится практически неизбежным. Действительно, ограничение содержания щелочных соединений в бетоне хотя и является эффективной мерой, но не во всех случаях. В реальных условиях, когда возможны поступления щелочных соединений из антигололедных веществ, морских или грунтовых вод, активность заполнителей, считающихся инертными при относительно низких концентрациях щелочей, может существенно возрасти. Далеко не во всех случаях доступны заполнители, не содержащие реакционноспособных включений. Фактор высокой влажности для реальных объектов, особенно в северных широтах, исключить вообще невозможно.

Следует добавить, что скорость развития щелочно-силикатных реакций и разрушение бетона зависят от условий эксплуатации последнего. Например, циклические перепады температуры, попеременное высушивание и увлажнение ускоряют деструктивные процессы (рис.4).

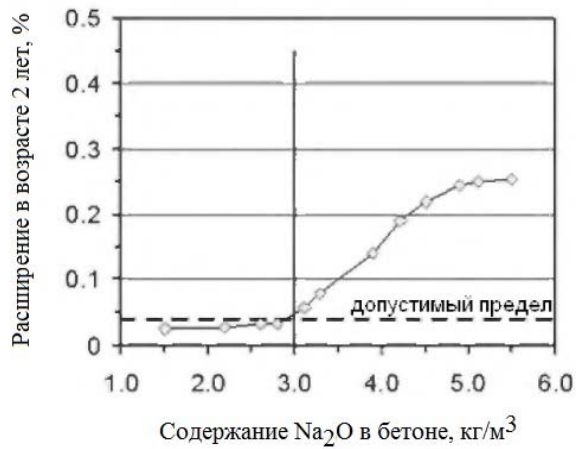


Рис. 4. Влияние содержания щелочей в бетоне на его расширение (испытания по ASTM 1293) [7]

Для уменьшения риска возникновения щелочно-силикатных реакций в строительной технологии находят применение такие приемы, как введение в состав бетонов высокодисперсных активных минеральных добавок и/или определенных химических соединений, ингибирующих щелочно-силикатные реакции. Хорошо известно, что активные минеральные добавки – природные пуццоланы, микрокремнезем, зола-унос и гранулированные доменные шлаки – весьма эффективно препятствуют развитию щелочной коррозии (рис.5). Их эффективность обусловлена несколькими причинами. Частичное замещение цемента минеральными добавками снижает количество щелочей, поступающих с цементом в бетон. Использование этих добавок способствует снижению пористости и созданию более плотной структуры камня, что существенно ограничивает поступление влаги внутрь бетона и затрудняет возможность распространения в нем щелочно-силикатного геля. Обладая также высокой удельной поверхностью и высокой пуццоланической активностью, минеральные добавки значительно снижают подвижность щелочных катионов и их концентрацию в жидкой фазе бетонной смеси уже на начальных стадиях гидратации, до формирования структуры камня. Следует заметить, однако, что в некоторых случаях приходится принимать во внимание поступление щелочей в бетон из самих добавок, обычно из зол-уноса.

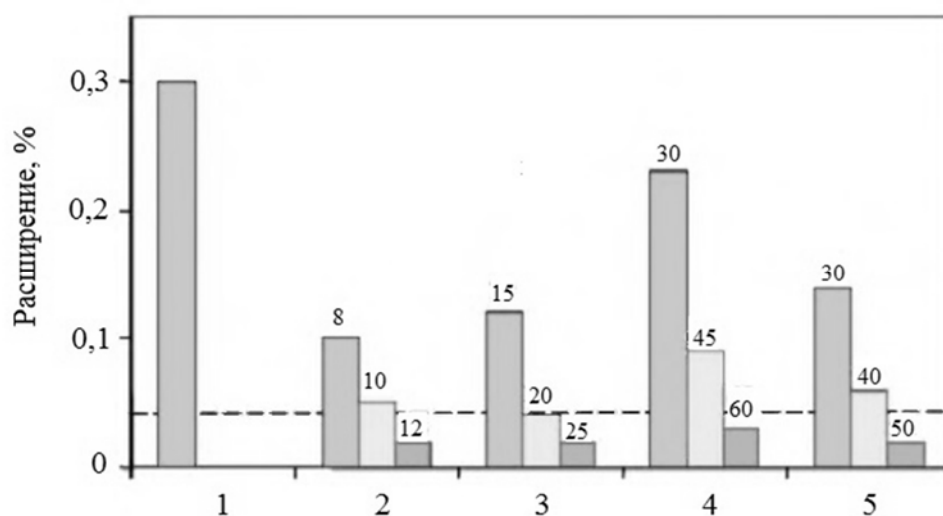


Рис. 5. Влияние минеральных добавок на расширение образцов бетона (по ASTM C1293):

1 – бездобавочный бетон; 2-5 – бетон с добавками: 2 – микрокремнезем; 3 – зола-унос низкокальциевая; 4 – зола-унос высококальциевая; 5 – доменный шлак (цифры в поле рисунка указывают процент замещения цемента минеральной добавкой, пунктирной линией обозначено предельно допустимое расширение)

В настоящее время введение в бетонные смеси золы-уноса является наиболее распространенным способом подавлять щелочно-силикатные реакции. На ее свойства ингибировать щелочно-силикатные реакции оказывают влияние следующие факторы: содержание золы-уноса в цементе, химический состав золы (содержание кремнезема и щелочей), активность заполнителей и самой золы, содержание щелочей в бетоне. Низкокальциевые золы-уноса оказывают более эффективное действие по сравнению с высококальциевыми золами, которые являются более щелочными и содержат меньшее количество кремнезема. Степень замещения цемента золой-уносом может находиться в пределах 15-35% и более. Гранулированные доменные шлаки также широко применяются для ингибирования протекания щелочно-силикатных реакций; их вводят в бетонные смеси, замещая 35-50 % и более цемента. Содержание шлака в составе бетона определяется реакционной способностью заполнителя и общей щелочностью бетона. По сравнению со шлаками и золами-уносом, микрокремнезем характеризуется большим содержанием  $\text{SiO}_2$ , большей дисперсностью и практически полным отсутствием щелочей в своем составе. Поэтому микрокремнезем обладает наилучшей способностью подавлять щелочно-силикатные реакции в бетоне при условии, что он равномерно распределен в цементном камне.



При использовании микрокремнезема в качестве меры, препятствующей развитию щелочно-силикатных реакций, рекомендуемый процент замещения цемента микрокремнеземом (по массе) должен в 2-3 раза превосходить содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  в бетоне ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Применение микрокремнезема в дозировках более 5% сопряжено с необходимостью вводить пластифицирующие добавки. Поэтому, как правило, его используют в сочетании с золами-уносом и/или шлаками, что зачастую оказывается более эффективным, чем применение этих компонентов по отдельности.

Производимый в Исландии портландцемент в силу особенностей химического состава сырьевых материалов отличается высоким содержанием щелочных оксидов – до 1,7 мас. % в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$ . В 70-х годах XX столетия проблема щелочно-силикатных реакций в бетоне стала очевидной, тем более, что этому во многом способствовал влажный климат Исландии, а применяемые для приготовления бетона заполнители добывались из моря и в основном использовались непромытыми. В качестве меры противодействия стало применение, начиная с 1979 г, микрокремнезема – побочного продукта от запущенного в том же году производства ферросилиция. В последующий двадцатилетний период в Исландии не отмечались случаи проявления щелочно-силикатной коррозии. Несмотря на то что были приняты и другие меры, препятствующие протеканию щелочно-силикатных реакций, систематическое применение микрокремнезема в составе портландцемента является основным фактором. На самом деле, различие между потенциально активными заполнителями и пуццоланами заключается в основном только в дисперсности. Увеличение дисперсности реакционноспособных заполнителей поначалу повышает их активность в щелочно-силикатных реакциях и способствует расширению бетона, однако после измельчения в тончайший порошок такие заполнители уже не представляют опасности и являются обычными пуццоланами (здесь также можно говорить об эффекте «пессимума»). Напротив, при недостаточном диспергировании микрокремнезема крупные агрегаты микрокремнезема (более 150 мкм) иногда способны принимать участие в щелочно-силикатных реакциях и, таким образом, могут представлять опасность (по крайней мере, об этом свидетельствуют данные исследований).

В работе [7] рассматриваются ускоренные испытания по оценке потенциальной реакционной способности заполнителя в трех бетонных смесях с одинаковым водоцементным отношением, равным 0,42. Результаты средних значений относительных деформаций расширения представлены на рис. 6. Несмотря на то, что в действующих нормативных документах установлена граница длительности испытаний 11 циклов, исследования были продолжены до 21 цикла.

При проведении испытаний после 11 циклов относительное расширение у контрольных образцов достигло значения 0,13 %, при введении нанокремнезема в количестве 0,025 и 0,125 % от массы – 0,09 и 0,07 %, соответственно, т. е. было ниже критического значения.

На основе полученных результатов можно было сделать вывод, что введение нанокремнезема в бетонную смесь предупреждает возникновение щелочно-силикатной реакции, однако при дальнейшем выдерживании образцов в одномолярном растворе гидроксида натрия деформации расширения продолжали расти и на 21-й день превысили допустимую границу в 1,5–2 раза. Полученные результаты доказывают, что введение нано-кремнезема не предотвращает щелочно-силикатную реакцию, а лишь замедляет ее протекание.

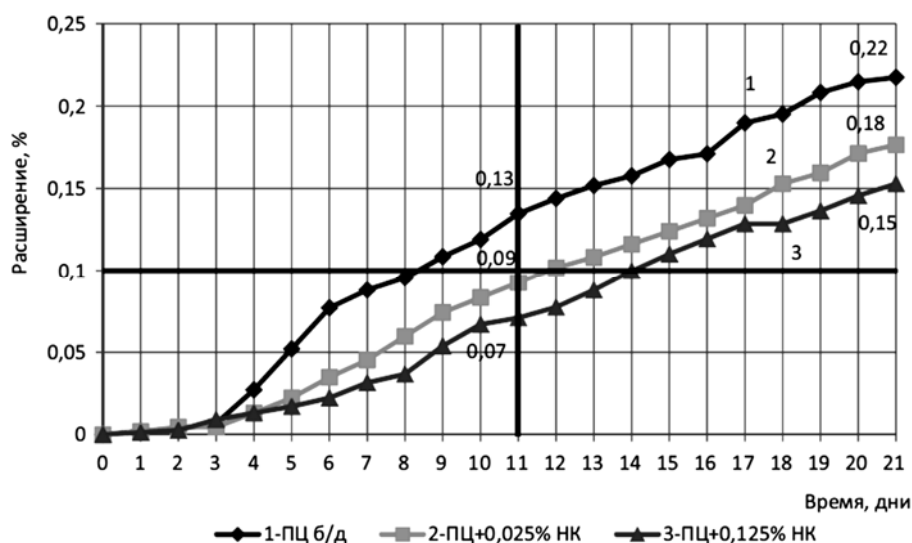


Рис. 6. Относительное расширение мелкозернистого бетона (по данным [7])

Автор [7] в ходе микроскопических исследований установил, что в образцах бетона без добавок все поры заполнены щелочно-силикатным гелем, что говорит о продолжающейся внутренней коррозии бетона. Наличие геля в порах ускоряет процесс расширения образцов с последующим образованием микротрещин. Добавка нанокремнезема приводит к образованию щелочно-силикатного геля не в порах, а в цементной матрице, что объясняет замедление протекания химической реакции между щелочами цемента и кремнеземом.

Результаты, полученные в исследовании, показали, что использование нанокремнезема позволяет лишь замедлить протекание щелочно-силикатной реакции, но не предотвратить ее полностью.

Замедление реакции объясняется образованием геля не в порах, а в цементной матрице, в связи с чем в последнем случае требуется гораздо большее количество геля, способного повлечь нежелательное расширение образцов. Исследования по ускоренной методике не позволяют сделать достоверные выводы о действии нанокремнезема на процесс разрушения бетона вследствие прохождения внутренней коррозии.

### 3.2. Применение соединений лития для снижения щелочной коррозии

Различные химические соединения были испытаны в качестве ингибиторов щелочной коррозии и показали хороший результат ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , фосфаты кальция, некоторые органические вещества). Однако наиболее эффективными оказались соединения лития ( $\text{LiOH}$  и  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{LiNO}_3$ ), применение которых в бетонных технологиях, несмотря на их относительно высокую стоимость и дефицитность, уже вышло за рамки научных исследований. Экономически оптимальным является комбинирование соединений лития с активными минеральными добавками – золами-уноса, шлаками. Добавка литиевых соединений в бетонные смеси может служить в качестве профилактических мер для предотвращения щелочной коррозии в новых бетонах; обработка поверхности бетона любого возраста, имеющего признаки щелочно-силикатных реакций, может замедлить их дальнейшее распространение (рис. 7). Наиболее перспективным считается нитрат лития, поскольку это соединение не вносит в бетонную смесь дополнительного количества гидроксид-ионов и не вступает в обменные реакции с высвобождением ионов  $\text{OH}^-$ . По всей видимости, эффективность соединений лития обусловлена образованием, в условиях ограниченного доступа воды, малорастворимых силикатов лития, не способных в дальнейшем поглощать воду и увеличивать за счет этого свой объем. Вхождение иона лития в состав малорастворимых продуктов подтверждается более значительным снижением содержания в поровой жидкости ионов  $\text{Li}^+$  по сравнению с изменениями концентрации других щелочных катионов ( $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ ) с течением времени. Более того, ион лития, обладая малым ионным радиусом и высокой плотностью заряда, образует более прочные связи с кремнием через кислород по сравнению с натрием и калием и поэтому постепенно замещает собой щелочные ионы других типов. Эффективность соединений лития в качестве ингибиторов щелочной коррозии во многом зависит от содержания щелочей в цементе или бетоне, вида и дозировки соединения лития, а также вида заполнителя. Как правило, эффективность соединений лития в большей степени проявляется в случае высокоактивных заполнителей,

содержащих опаловидный или стекловидный кремнезем, и в меньшей степени – в случае заполнителей с меньшей реакционной способностью по отношению к щелочам.

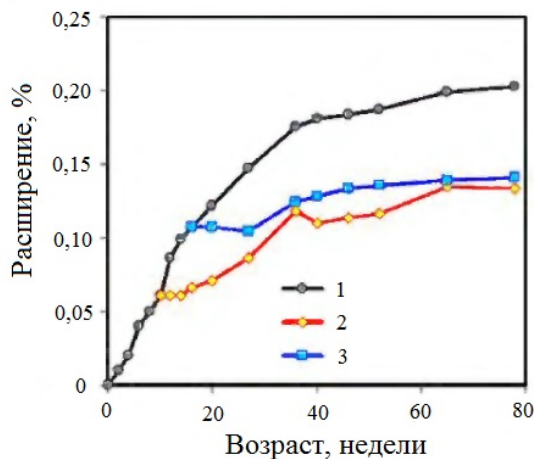


Рис. 7. Влияние обработки поверхности бетона соединениями лития на расширение образцов:

2 и 3 – образцы обработаны соответственно спустя 10 и 16 недель после начала эксперимента, 1 – контрольный состав

Дозировка литиевой соли или основания, требуемая для подавления расширения, оказывается довольно значительной. Ионы лития должны присутствовать в количестве, не меньшем, или даже большем, чем щелочные ионы, вызывающие расширение. Обычно для нитрата лития минимальное значение молярного отношения  $Li_2O/(Na_2O+K_2O)$  находится в пределах 0,72-0,93; для других соединений лития – в пределах от 0,67 до 1,2 (рис. 8).

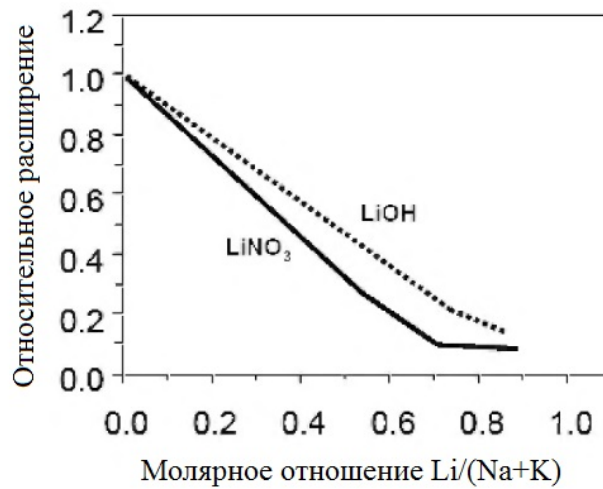


Рис. 8. Зависимость расширения образцов бетона от молярного отношения  $\text{Li}/(\text{Na}+\text{K})$

В настоящее время действие соединений лития испытывают на реальных бетонных объектах, вводя их в качестве компонента в бетонные смеси, или же в виде растворов, нанося на поверхность бетонной конструкции вручную или с помощью специальной техники. Расход раствора  $\text{LiNO}_3$  составляет в среднем 0,12-0,24 л на 1 м<sup>2</sup> поверхности. В некоторых случаях для улучшения проникновения раствора нитрата лития в бетон применяют добавки ПАВ, а также используют специальные методы – вакуумное или электрохимическое импрегнирование. С начала 1990-х годов растворами соединений  $\text{LiNO}_3 \cdot \text{LiOH}$  обработано большое количество бетонных сооружений – мостов, автострэд.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимым условием прогнозирования и обеспечения высокой долговечности бетонных и железобетонных конструкций является оценка факторов, влияющих на возможность возникновения щелочно-силикатных реакций в бетоне.

Как показывает анализ научной и технической литературы по оценке риска и предотвращению щелочной коррозии бетона, эта проблема решена еще не полностью, несмотря на значительные объемы исследований, выполненных за несколько последних десятилетий.

Основная сложность, возникающая при оценке реакционной способности заполнителя по отношению к щелочам, содержащимся в цементном камне или поступающим из окружающей среды, заключается в значительной продолжительности щелочно-силикатной реакции в бетоне. Повышение температуры испытания и увеличение концентрации щелочи, которые используются в ускоренных методиках, часто дают ошибочный результат.

Наиболее перспективным и широко распространенным методом предотвращения щелочной коррозии бетона является введение в его состав минеральных добавок. Однако, как показывает практика, эти добавки во многих случаях эффективны при их повышенном расходе, что создает проблемы с морозостойкостью бетона. В связи с этим решение о целесообразности применения минеральных добавок, выборе вида добавки и назначении ее дозировки может быть принято инженером-технологом с учетом комплекса данных о свойствах цемента, заполнителя, составе бетона и условиях его эксплуатации.

Несмотря на то что проблема достоверной оценки риска щелочной коррозии бетона решена не до конца, существующие методы позволяют для большинства случаев выявить реакционноспособный заполнитель и с достаточно высокой надежностью исключить возможность развития щелочной коррозии в бетонных и железобетонных конструкциях.

КР-69059-080301-103716-2016

Лист

28

## ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брыков, А.С. Щелочно-силикатные реакции и коррозия бетона: учебное пособие / А.С. Брыков. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009. – 27 с.
2. Штарк, И. Долговечность бетона / И. Штарк, Б. Вихт; пер. с нем. – Киев: Оранта, 2004. – 301 с.
3. Рояк, Г.С. Внутренняя коррозия бетона / Г.С. Рояк // Тр. ЦНИИС. – 2002. – № 210. – 156 с.
4. Сальников, Н.С. Коррозионное разрушение бетона, содержащего большие добавки поташа / Н.С. Сальников, Ф.М. Иванов // Бетон и железобетон. – 1971. – № 10. – С. 17-19.
5. СТО 36554501-022-2010. Защита бетона от коррозии, вызываемой реакцией диоксид кремния заполнителя со щелочами цемента.
6. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя
7. Сорвачева, Ю.А. Влияние нано-кремнезема на кинетику протекания щелочной коррозии бетона / Ю.А. Сорвачева // Известия Петербургского университета путей сообщения № 2 (39) / 2014. С. 118-123.
8. Stanton, T.E. (1940). Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate // Proceedings American Society of Civil Engineers, 66, 1781–1811.
9. Hobbs, D.W. (1988). Alkali-silica reaction in concrete, London.
10. Jensen, V. (1993). Alkali aggregate reaction in Southern Norway: thesis, Trondheim.
11. Jensen, V., Merz, C. (2008). Alkali-aggregate reaction in Norway and Switzerland – survey investigations and structural damage. Proceedings of the 13th ICAAR, Trondheim, 785–795.
12. Bodeker, W. (2003). Alkalireaktion im Bauwerksbeton – Ein Erfahrungsbericht. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), 539.
13. Bakker, J. D. (1999). ASR in 20 bridges in and over motorway 59 in the Netherlands. Proceedings of the 8th International Conference on Structural Faults and Repair, London, cd-rom, pp. 8.
14. Andiç-Çakır, Ö., Çopuroğlu, O., Katayama, T. (2012). A Review of Alkali-Silica Reactivity in Turkey: A Case Study From Izmir, west Anatolia // Proceedings of the 14th ICAAR, Austin, 10 p.
15. Nerenst, P. (1957). Alment om Alkali Reak tioner i Beton. The Danish National Institute of Building Research and the Academy of Technical Sciences, Committee on Alkali Reactions in Concrete, Progress Report Al, Copenhagen.

<b>КР-69059-080301-103716-2016</b>	<b>Лист</b>
	<b>29</b>

## Продолжение приложения

16.Gudmundsson, G., Asgeirsson, H. (1975). Some Investigation on Alkali Aggregate Reaction. Lagerblad & Trägårdh. (1992). Alkali-silica reactions in Swedish Concrete, Stockholm.

17.Рыу, Н., Ferreira, M., Holt, E. (2012). Assessing the extent of AAR in Finland. Proceedings of the 14th ICAAR, Austin, 6 p. К вопросу о долговечности железобетонных конструкций / Т.М. Петрова, Ю.А. Сорвачева // Сб. науч. трудов Sworld. – 2013. – Т. 43, № 1. – С. 68–76.

18.Lindgard, J. (2012). Alkali-silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing. Cement & Concrete Research, 42 (2), 223–243.

19.Рояк, Г.С. Внутренняя коррозия бетона/ Г.С. Рояк. – Тр. ЦНИИС. М., 2002.– № 210.– 156 с.

20.Розенталь, Н.К. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя / Н.К. Розенталь, Г.В. Любарская // Бетон и железобетон (бетонные изделия). –2012.– №1(6).–С.66–76.

21.Брыков, А.С. Щелочно-силикатные реакции и коррозия бетона / А.С. Брыков // Цемент и его применение.– 2009.– №5.–С.31–37.

22.ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.

23.Richter, A. Damage diagnosis of concrete structures Modified accelerated mortar test for testing the ASR expansion potential / A. Richter, O. Philipp // Betonwerk FertigteM-Techn.– 2009. –75.– №4.–P.34–36, 38–43.

24.Fan, Sh. Effect of alkali silica reaction expansion and cracking on structural behavior of reinforced concrete beams / Sh.Fan, J. M. Hanson // ACI Struct. J.–1998.– 95.–№ 5.–P. 498–505.

25.Schafer, E. Einfluss von Zement und Zusatzstoffen auf das Alkaliangebot fur eine Alkali-Kieselsaure-Reaktion / E. Schafer, B.Meng // Betontechnische Berichte. 2004.– 95.–№ 5.–P.145–155.

26.Волженский, А.В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А.В. Волженский, И.А.Иванов, Б.И. Виноградов.– М.: Стройиздат, 1984.– 255 с.

27.Berra, M. Use of an ultra-accelerated concrete prism expansion test for alkali-silica reactivity assessment/ M. Berra, T. Mangialardi, A.Paolini // Mag. Concr. Res.– 2005.–57– № 1.–P. 39–47.

Лист

30



- 28.Hill, S. Direct assessment of the alkali sensitivity of Precambrian greywacke from Lausitz / S.Hill, K.-J. Huenger // *Cement Int.*–2005. –3– № 1.–P.104–119.
- 29.Chen, J. Rapid evaluation of alkali — silica reactivity of aggregates using a nonlinear resonance spectroscopy technique test / J.Chen, A. R. Jayapalan, J.-Y. Kim // *Cem. and Concr. Res.*– 2010.– 40.– № 4.– P. 914–923.
- 30.Bachmann,R. BTU-SP-Schnelltest zur Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskornungen / R.Bachmann, K.-J. Hunger, Y.Scholz // *Hahn Ulrica. Beton.* – 2009.– 59.–№ 4.–P.138–139, 141–143.
- 31.Binal, A. The determination of gel swelling pressure of reactive aggregates by ASGPM device and a new reactive-innocuous aggregate decision chart / A.Binal // *Constr. and Build. Mater.*–2008.–22.–№ 1.–P. 1–13.
- 32.Блэнкс, Р.Ф. Технология цемента и бетона/пер. с англ./ Р.Ф. Блэнкс, Г.Л. Кеннеди.– М.: Промстройиздат, 1957.– 327 с.
- 33.Раманчандран В.С. Наука о бетоне. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
- 34.Рояк, Г. С. Изучение внутренней коррозии в сухих строительных смесях / Рояк, Г. С. // *Тр. ЦНИИС N 225.* –2004. – с. 70–75.
- 35.Guerrero, A. Long term durability at 40 °C of ecoefficient belite cement-mortar exposed to sulfate attack/ A.Guerrero, S.Goni, M.P.// Lorenzo (Instituto de Ciencias de la Construcion Eduardo Torroja (CSIC), Serrano Galvache, 4, 28033 Madrid). *Adv. Cem. Res.* 2008.–20. –№4.– P.139–144.
- 36.Hekal E. E. Magnesium sulfate attack on hardened blended cement pastes under different circumstances/ E. E.Hekal, E. Kishar, H. Mostafa // *Cem. and Concr. Res.* – №9.–2002.–т. 32 –P.1421–1427.
- 37.Agostini, F. Experimental study of accelerated leaching on hollow cylindens of mortar/ F.Agostini, Z.Lafhaj, F Skoczylas // *Cem. and Concr. Res.*– 2007. 37.– №1.– P. 1–78.
- 38.Cohen, M. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars Santhanam Manu/ M. Cohen, J. Olek // *Cem. and Concr. Res.* 2006. – 36.– №12.– P.2132–2137.
- 39.Microstructural study of sulfate attack on ordinary and limestone Portland cements at ambient temperature., ISSN: 0008-8846// *Cem. and Concr. Res.* –№1.– 2003.– Т.33.– P.31-41.
- 40.Jiang, M. Guisuanyuan xuebao/ M.Jiang, J. Chen, D.Yang // *Cem. and Concr. Res* –№1.– 2005.– т. 33 – P. 126–132.

41. Jain, J. Analysis of calcium leaching behavior of plain and modified cement pastes in pure water/ J. Jain, N. Neithalath // *Cem and Concr. Compos.*– 2009. – № 31.– P.176–185.
42. Hill, S. Direct assessment of the alkali sensitivity of Precambrian greywacke from Lausitz / S.Hill, K.-J. Huenger // *Cement Int.*–2005. –3– № 1.–P.104–119.
43. Chen, J. Rapid evaluation of alkali — silica reactivity of aggregates using a nonlinear resonance spectroscopy technique test / J Chen, A. R. Jayapalan, J.-Y. Kim // *Cem. and Concr. Res.*– 2010.– 40.– № 4.– P. 914–923.
44. Bachmann, R. BTU-SP-Schnelltest zur Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskornungen / R.Bachmann, K.-J. Hunger, Y.Scholz // *Hahn Ulrica. Beton.* – 2009.– 59.–№ 4.–P.138–139, 141–143.
45. Binal, A. The determination of gel swelling pressure of reactive aggregates by ASGPM device and a new reactive-innocuous aggregate decision chart / A.Binal // *Constr. and Build. Mater.*–2008.–22.–№ 1.–P. 1–13.
46. Блэнкс, Р.Ф. Технология цемента и бетона/пер. с англ./ Р.Ф.Блэнкс, Г.Л. Кеннеди.– М.: Промстройиздат, 1957.– 327 с.
47. Jiang, M. Guisuan yuan хuebao/ M.Jiang, J. Chen, D.Yang // *Cem. and Concr. Res* –№1.– 2005.– т. 33 – P. 126–132.
48. Рояк, Г. С. Изучение внутренней коррозии в сухих строительных смесях / Рояк, Г. С. // *Тр. ЦНИИС N 225.* –2004. – с. 70–75.
49. Guerrero, A. Long term durability at 40 °C of ecoefficient belite cement-mortar exposed to sulfate attack/ A.Guerrero, S.Goni, M.P.// Lorenzo (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), Serrano Galvache, 4, 28033 Madrid). *Adv, Cem. Res.* 2008.–20. –№4.– P.139–144.
50. Hekal E. E. Magnesium sulfate attack on hardened blended cement pastes under different circumstances/ E. E.Hekal, E. Kishar, H. Mostafa // *Cem. and Concr. Res.* – №9.–2002.–т. 32 –P.1421–1427.
51. Agostini, F. Experimental study of accelerated leaching on hollow cylinders of mortar/ F.Agostini, Z.Lafhaj, F Skoczylas // *Cem. and Concr. Res.*– 2007. 37.– №1.– P. 1–78.
52. Cohen, M. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars Santhanam Manu/ M. Cohen, J. Olek // *Cem. and Concr. Res.* 2006. – 36.– №12.– P.2132–2137.
53. Microstructural study of sulfate attack on ordinary and limestone Portland cements at ambient temperature., ISSN: 0008-8846// *Cem. and Concr. Res.* –№1.– 2003.– т.33– P.31-41.

54.Рахимбаев, Ш.М. Способ определения реакций между щелочами и заполнителем / Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Толпыгина // Вестник БГТУ.– 2011.– № 2.– С. 79–81.

55.Бондаренко, В.М. Феноменология кинетики повреждений бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде / В.М. Бондаренко //Бетон и железобетон.– 2008.– № 2.–С.25–27.

56.Яковлев, В. В. Оценка скорости коррозии бетона забивных свай в агрессивных грунтовых условиях / В.В. Яковлев, В.И. Дедков // Проблемы строительного комплекса России: матер. 10 междунар. специализированной выставки «Строительство. Коммунальное хозяйство – 2006», (Уфа, 1-3 марта, 2006). Уфа: УГНУ, 2006.– Т.1. –С.144–145.

57.Коррозия бетона в агрессивных средах / Под ред. В.М. Москвина (НИИЖБ). – М.: Стройиздат, 1971.–156 с.

58.ASTM C 1260 – 05 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)

59.ASTM C 586 – 05 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method)

60.ASTM C 441 – 05 Standard Test Method for Effectiveness of Pozzolans or Ground Blast-Furnace Slag in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to the Alkali-Silica Reaction

61.ASTM C 1105 – 05 Standard Test Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction

62.ASTM C 1293 – 05 Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
1. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	5
1.1. Выбор и утверждение темы работы .....	6
1.2. Подбор литературы, необходимой для выполнения курсовой работы. ....	8
1.3. Разработка и согласование плана курсовой работы .....	11
1.4. Оформление курсовой работы .....	11
2. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВЫХ РАБОТ .....	14
3. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	15
4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	16
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	17
Приложение .....	19

Учебное издание

Коровкин Марк Олимпиевич  
Калашников Владимир Иванович  
Ерошкина Надежда Александровна

### ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Методические указания по выполнению курсовой работы  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Редактор                   М.А. Сухова  
Верстка                    Н.В. Кучина

---

Подписано в печать 22.01.16. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 3,02.      Уч.-изд.л. 3,25.                   Тираж 80 экз.  
Заказ № 77.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.