

На правах рукописи

Володин Владимир Михайлович

**ПОРОШКОВО-АКТИВИРОВАННЫЙ  
ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ПЕСЧАНЫЙ БЕТОН  
И ФИБРОБЕТОН С НИЗКИМ УДЕЛЬНЫМ  
РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА  
НА ЕДИНИЦУ ПРОЧНОСТИ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пенза 2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

- Научный руководитель – Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор **Калашников Владимир Иванович**
- Официальные оппоненты – **Хозин Вадим Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», зав. каф. «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»
- **Ерофеев Владимир Трофимович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», зав. каф. «Строительные материалы и технологии»
- Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Защита состоится 28 декабря 2012 г. в 11-00 на заседании диссертационного совета Д212.184.01 в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, корп. 1, конференц-зал.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства.

Автореферат разослан 26 ноября 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



С.В. Бакушев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Песчаные бетоны (мелкозернистые или пескобетоны) практически не используются в заводской технологии для изготовления несущих конструкций и в сборном монолитном строительстве. Наибольшая сфера их применения в настоящее время – это изготовление мелкоштучных изделий методами силового прессования или вибропрессования в связи с насыщением рынка вибропрессующими линиями «Besser», «Hess», «Zenith», «HenKis» или агрегатами отечественного производства, преимущественно «Рифей».

В прошлые годы (начиная с 1970г.) и в настоящее время песчаные фибробетоны используются, как правило, для дорожных и аэродромных покрытий, полов промышленных зданий. Но они являются неэффективными из-за перерасходов фибры вследствие малой прочной бетонной матрицы в трехкомпонентных бетонах старого поколения (цемент + песок + вода) без суперпластификаторов (СП) или в четырехкомпонентных бетонах переходного поколения с СП.

Для более широкого использования песчаных бетонов, изготовленных способами вибрационного уплотнения из жестких, полужестких и пластичных песчаных смесей, необходимо существенное увеличение содержания цемента в таких бетонах, т.к. бетоны классов В40 – В50 являются цементоемкими. Цементоемкость существенно возрастает с использованием очень мелких песков. Удельный расход цемента ( $C_{RC}^{уд}$ ) на единицу прочности при сжатии (МПа) не бывает ниже 7–14. Повышенное содержание цемента при этом является причиной значительной усадки и ползучести бетонов, особенно из высокопластичных бетонных смесей, что ограничивает использование песчаных бетонов для изготовления несущих конструкций. Если бы эти бетоны имели деформативно-прочностные показатели, сопоставимые с щебеночными бетонами марок М200 – М500, тогда было бы возможно использовать такие бетоны во многих регионах, имеющих мелкие и средние пески без применения привозного и достаточно дорогого щебня. Тогда бы экономика строительства из бетона существенно улучшилась, т.к. местные природные пески в различных регионах имеют стоимость от 100 до 400 руб. за кубометр, а привозные щебни – от 1000 до 2000 руб. за кубометр.

Создание таких эффективных бетонов возможно за счет порошковой активации их при использовании СП и ГП. Принципы порошковой активации щебеночных бетонов разработаны на кафедре «Технологии бетонов, керамики и вяжущих» (ПГУАС), а эффективность их подтверждена практикой. При такой активации песчаные бетоны из трех- или четырехкомпонентных (с СП) превращаются в семи- или восьмикомпонентные (цемент, молотый песок, тонкий песок фракции 0,1–0,5 или 0,16–0,63 мм, мелкий или средний песок, микрокремнезем, ГП, вода). При этом открываются широкие возможности использования тонких песков с  $M_{кр}$  0,8–1,2, запасы

которых во многих регионах значительны и не могут быть использованы в бетонах старого поколения из-за перерасхода цемента.

Чрезвычайно актуально создание не только порошково-активированных бетонов нового поколения с низкими удельными расходами цемента, но и фибробетонов с более прочной матрицей по сравнению с бетонами старого поколения, которая позволит существенно понизить расход фибры.

**Цели и задачи исследований.** Целью диссертационной работы является разработка новых по составам и топологической структуре, оптимизированных составов пластифицированных песчаных бетонов общестроительного назначения М200 – М600, высокопрочных и сверхвысокопрочных бетонов и фибробетонов (М700 – М1300 и более) с помощью порошковой активации, с низким удельным расходом цемента на единицу прочности, не превышающим 6,0 кг/МПа, и исследование их основных физико-технических и гигрометрических показателей.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- систематизировать составы трех- и четырехкомпонентных песчаных бетонов старого поколения и переходного поколения (с СП и ГП) из жестких, полужестких и пластичных бетонных смесей и сравнить с бетонами нового поколения, включая самоуплотняющиеся (СУБ), по прочности и технико-экономическому и экологическому показателю – удельному расходу цемента на единицу прочности бетона при сжатии;

- выявить в составах многокомпонентных порошково-активированных песчаных бетонов нового поколения содержание каждого компонента, изменение объема реологических матриц по уровням их дисперсности и зернистости и оптимизировать наиболее эффективные составы по прочности;

- разработать составы многокомпонентных песчаных бетонов, в том числе с синтезированными нанометрическими гидросиликатами кальция, с низкими удельными расходами цемента на единицу прочности, не превышающими 4–5 кг/МПа;

- оптимизировать гранулометрический состав дисперсного наполнителя, тонкого песка и песка заполнителя для бетонных смесей по численным значениям безразмерных критериев соотношений сухих компонентов по массе и по объему и условных реологических критериев по значениям реологических матриц 1-го и 2-го рода в бетонных смесях;

- в соответствии с установленными условными реологическими критериями получить наилучшие реотехнологические свойства с использованием реакционно-активных, тонкодисперсных минеральных компонентов;

- исследовать основные физико-механические и гигрометрические свойства порошково-активированных песчаных бетонов и фибробетонов;

- теоретически обосновать на перспективу экономические критерии выбора стальной фибры в зависимости от временного сопротивления стали, допускаемого сопротивления на срез, диаметра фибры, длины анкеров-

ки ее в бетоне, сцепления с бетоном и от наличия концевых анкерных элементов.

### **Научная новизна работы**

– Систематизированы составы трех- четырехкомпонентных песчаных бетонов старого и переходного поколений (с СП и МК) по прочности и технико-экономическому показателю удельного расхода цемента на единицу прочности. Показано, что бетоны старого поколения являются цементоемкими с удельным расходом цемента на единицу прочности 10–14 кг/МПа, а переходного поколения – с удельным расходом цемента – 8–12 кг/МПа.

– Впервые установлено, что составы порошково-активированных песчаных бетонов нового поколения должны быть многокомпонентными, со строгими для каждого класса бетонов безразмерными соотношениями компонентов по массе и объему.

– Разработаны закономерности получения 6-7-компонентных песчаных бетонов нового поколения с расходами цемента от 190 до 748 кг/м<sup>3</sup> с низкими удельными расходами цемента в пределах 3,4–7,5 кг/МПа, с классами по прочности от В20 до В160 за счет порошковой активации, позволяющей увеличить объем водно-дисперсной цементирующей матрицы и усилить пластифицирующее действие СП и ГП в бетонных смесях.

– Впервые установлены оптимальные численные значения безразмерных соотношений компонентов по массе и объему и условных реологических критериев для самых эффективных бетонов с диапазоном расхода цемента от 365 до 391 кг/м<sup>3</sup> ( $C_{Rc}^{уд} = 3,37...4,37$  кг/МПа) с прочностью при осевом сжатии 90–116 МПа (В70–В90), что чрезвычайно важно для конструкционных бетонов и для бетонирования массивных конструкций с уменьшенной экзотермией.

– Разработана эффективная комплексная нанометрическая добавка, включающая гидросиликат кальция, – центр кристаллизации, ускоритель твердения для ускоренного набора распалубочной прочности, равной 15–18 МПа через 8–10 ч нормального твердения, и ингибитор коррозии стальной фибры.

– Для самых эффективных самоуплотняющихся песчаных бетонов и фибробетонов установлены чрезвычайно высокие физико-технические свойства, далеко превосходящие свойства щебеночных бетонов старого и переходного поколений: с прочностью на сжатие 120–200 МПа, с прочностью на растяжение при изгибе 17–40 МПа, усадкой – 0,2–0,3 мм/м, водопоглощением 0,8–1,5%, морозостойкостью более 500 циклов.

– Установлено, что в фибробетоне с прочностью на сжатие более 200 МПа тонкая гладкая и волнистая стальная фибра на 92–98% выдерживается из фибробетона при изгибном разрушении его. Дано теоретическое обоснование использованию фибры с анкерующими концами для уменьшения расхода стали в бетоне.

**Практическая значимость работы.** Для малоцементных песчаных бетонов класса В20–В60 уменьшен расход цемента в 1,5–2 раза, что определяет снижение потребления цемента в регионах и уменьшение объемов выбросов CO<sub>2</sub>.

При использовании высоко- и сверхвысокопрочных бетонов классов В100–В130 уменьшается сечение изделий и конструкций со снижением расхода бетона до 2,5–4,0 раз; при этом снижается не только расход цемента в 1,5–3,0 раза, но и расход средних и крупных песков – в 1,7–2,0 раза; расход дорогостоящих привозных щебней в 1,3–1,4 раза. В производство вовлекаются распространенные тонкие пески с модулем крупности 0,8–1,2 и ниже, не востребованные в производстве бетонов старого поколения.

Представляется возможность внедрения в весь сырьевой комплекс ресурсо- и энергосберегающих и более экологически чистых технологий за счет ограничения наращивания чрезвычайно материало- и энергоемкого производства портландцемента, уменьшения энергоемких процессов добычи сырья и его транспортных перемещений.

Результаты диссертационной работы получили внедрение на ООО «Новые технологии в строительстве» (г. Москва), на ООО «Новые технологии строительства» (г. Красноярск), ООО «Бессоновский домостроительный комбинат» (г. Пенза).

Экономическая эффективность разработанных бетонов состоит в значительном снижении материалоёмкости за счёт сокращения расходов бетонных смесей для изготовления высокопрочных изделий и конструкций.

Результаты используются в учебном процессе при подготовке инженеров-строителей-технологов по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», магистров по направлению 270100 «Строительство».

**Степень достоверности.** Достоверность результатов работы подтверждена сходимостью большого числа экспериментальных данных, полученных с применением комплекса не только стандартных, но и разработанных и высокоинформативных методов исследования, их непротиворечивостью известным закономерностям, часть из которых выявлена за рубежом и в ведущих российских организациях. Выводы и рекомендации, полученные в работе, официально апробированы и внедрены в строительную практику.

**Личный вклад автора:** заключается в анализе эволюции изменения прочности песчаных бетонов, в выборе направлений и методов исследования, в проведении экспериментальных исследований и обработке результатов, их анализе и обсуждении, а также в работе по формулировке выводов.

**На защиту выносятся:**

– результаты исследования составов и свойств песчаных бетонов общестроительного назначения, высокопрочных и сверхвысокопрочных песчаных многокомпонентных бетонов и фибробетонов нового поколения

классов В20–В160, с микрометрической добавкой молотого песка, с нанометрическими добавками МК, белой сажи и гидросиликата кальция, образующими в совокупности с цементом, под действием гиперпластификатора, реологически активную высококонцентрированную водно-дисперсную систему, являющуюся высокоплотной реологической матрицей бетонных смесей;

– принципы оптимизации структурной топологии дисперсно-зернистых песчаных смесей с изменяющимися безразмерными соотношениями компонентов по массе и объему для бетонов с различным содержанием цемента с порошковой активацией их состава;

– экспериментальные исследования реотехнологических свойств бетонных смесей для порошково-активированных песчаных бетонов и фибробетонов, результаты исследований подбора состава бетонов.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты докладывались на Всероссийских и Международных НТК: «Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов» (г.Пенза, 2009, 2010, 2011, 2012 гг.), «Композиционные строительные материалы. Теория и практика» (г.Пенза, 2010, 2011, 2012 гг.), «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов», 5-й Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г.Пенза, 2010 г.), «Актуальные вопросы строительства» (г.Саранск, 2010 г.), на Международном семинаре-конкурсе молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей (г.Москва, Выпуск № 6, 2010 г.), «Социальные стандарты качества жизни в архитектуре, градостроительстве и строительстве» (Москва-Орел, 2011), Международном цементном форуме, Международном конгрессе по технологии бетона и Международной неделе сухих строительных смесей (Москва, 2011 г.), «Дни современного бетона» (Хортица, 2012).

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 29 работ, из них в журналах по перечню ВАК РФ – семь работ.

**Конкурсы.** В 2010 г. – проект «Сухие тонкозернисто–порошковые бетонные смеси нового поколения» признан лучшей научно-исследовательской работой на Международном семинаре-конкурсе молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей (Москва); 2010 г. – победитель программы «У.М.Н.И.К.» («Участник молодежного научно-инновационного конкурса») по направлению «Химия, новые материалы, химические технологии» в МГУ города Саранска; 2011 г. – победитель федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» государственный контракт № 14.740.11.1254; 2011 г. – Лауреат премии по поддержке талантливой молодежи, установленной Указом Президента Российской Федерации от 6 апреля 2006 г. № 325 «О мерах государственной поддержки талантливой молодежи»; 2012 г. – исполнитель гранта Президента Россий-

ской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук рег. № 01201257495.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, основных выводов, списка использованной литературы, включающего 150 наименований. Изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков и 32 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность выбранного направления исследований, сформулированы цель и задачи исследований, показана их научная и практическая значимость.

**В первой главе**, посвященной аналитическому обзору литературы, выявлено, что повышенная прочность бетонов без СП равная 40–50 МПа из смесей марки П1, достигалась с расходом цемента 400–600 кг/м<sup>3</sup>. С СП можно было изготавливать песчаный бетон с марками на 10–15% выше уровня той марки раствора, которая определялась при оценке марки цемента из малопластичных растворов состава 1:3 (Ц:П) по ГОСТ 310, с использованием чистого стандартного Вольского песка. Естественно, что использование очень мелких песков, взамен стандартного, приводило к понижению прочности.

Рассмотрены и проанализированы предпосылки различных известных и предложенных вариантов увеличения прочности песчаных бетонов с СП, не являющимися определяющими для перехода к высокоэффективным бетонам нового поколения.

Бетоны переходного поколения с более эффективными супер- и гиперпластификаторами на поликарбоксилатной основе не осуществили особого прорыва в повышении прочности малоцементных песчаных бетонов, но некоторое увеличение прочности по сравнению с СП (С-3, Melment, Wiskoment) было достигнуто при повышенных расходах цемента. В дальнейших исследованиях использовались пуццоланические добавки, такие, как микрокремнезем, дегидратированный метакаолин и золы. На этом пути был сделан первый шаг к получению бетонов нового поколения.

Переход на щебеночные бетоны нового поколения стал возможен только при реализации высокой реологии за счет добавления к цементу значительного количества дисперсных наполнителей, тонкого песка и снижения доли среднего или крупного песка-заполнителя и щебня. Такие бетоны были разработаны на кафедре ТБКиВ и названы порошково-активированными. Исходя из анализа состава, реологии бетонных смесей и прочности щебеночных бетонов, была сделана научная гипотеза: песчаные бетоны нового поколения должны быть порошково-активированными. Подтверждение этой гипотезы и легло в основное содержание диссертации.

Песчаные бетоны первого и второго поколений в значительно большей степени, чем щебеночные, использовались для производства фибробето-



нов. Однако, в силу невысокой прочности и малого адгезионного сцепления с поверхностью различных видов фибры, прочность таких фибробетонов на растяжение при изгибе была не высокой.

На основании проведенного анализа определилось направление исследований.

**Во второй главе** приведены характеристики используемых материалов, способы приготовления бетонных смесей, описаны оборудование и методы исследования. Использовались портландцементы российского производства: Вольский М500Д0, Подольский М500Д0, Воскресенский М400Д5, Щуровский М500Д0, Красноярский М500Д0 и др. Для сравнения использовался белый высококалорийный датский цемент СЕМ 52,5 R AlborgWeit. Применялось несколько видов песка: песок полевошпатовый гравийный классифицированный (г.Красноярск)  $M_{кр}=1,86$ ; песок классифицированный стекольный (Ртищевский Саратовская обл.)  $M_{кр}=1,92$ , песок кварцевый Сурский с  $M_{кр}=1,48...1,55$ ; песок кварцевый формовочный Люберецкого горно-обогатительного комбината с  $M_{кр}=1,02$ . В качестве реакционно-активных пуццолонических добавок использовали микрокремнеземы: Новокузнецкий гранулированный с содержанием  $SiO_2 > 83\%$ ,  $\rho=450$  кг/м<sup>3</sup>; Новокузнецкий порошкообразный с содержанием  $SiO_2 > 83\%$ , Липецкий с содержанием  $SiO_2$  не менее 88% с удельной поверхностью 5200 м<sup>2</sup>/кг; белая сажа БС-50, БС-115 (50 и 115 м<sup>2</sup>/г); молотые кварцевые полевошпатовые пески; микрокварц по ГОСТ 9077–82 с удельной поверхностью 260–500 м<sup>2</sup>/кг; супер- и гиперпластификаторы на нафталиновой основе – С-3 и поликарбоксилатной основе – Melflux 1641F, 2651F, 5581F, Хидетал 9γ и Sica Visco Crete. Для набора ранней 6-10-часовой расплывчатой прочности использовали синтезированную на кафедре ТБКиВ добавку – нанометрическую суспензию гидросиликатов кальция. В качестве дисперсной арматуры применялась стальная фибра длиной 12 мм и диаметром 0,22 мм и углеродные волокна в различных объемных дозировках.

Для приготовления бетонных смесей использовали турбулентный смеситель (100–600 об/мин.). Для изучения физико-технических свойств бетонов применялись современные приборы и оборудование отечественного производства. Микроскопический анализ поровой структуры осуществлялся на микроскопе QX3 фирмы Digital Blue. Дисперсионный анализ сверхтонких частиц выполнялся на лазерном анализаторе размеров частиц Analysette 22 Nano Tech производства фирмы FRITZSCH.

**В третьей главе** проведен хронологический анализ эволюции изменения прочности и удельного расхода цемента на единицу прочности песчаных бетонов, начиная с 1971 г. Использовано более 40 различных литературных источников. Показано, что за 41 год удельный расход цемента варьировался от 34 до 4,7 кг/МПа и ниже (результаты автора) в песчаных бе-

тонах разных поколений. Наименьший  $\rho_{Rc}^{уд}$  был получен в бетонах нового поколения.

Приводится топологическая структура порошково-активированного песчаного бетона нового поколения. Дается обоснование критериальному параметру  $\rho_{Rc}^{уд}$  для отнесения таких бетонов к бетонам нового поколения. Если использовать этот критерий, то к бетонам нового поколения необходимо относить не только высокопрочные (В80–В120), изготавливаемые в передовых странах, но и бетоны общестроительного назначения классов В15–В60, широко используемые в настоящее время, если удельный расход цемента в них будет не более 6,0 кг/МПа.

Исходя из основных теоретических представлений о структуре порошково-активированных щебеночных бетонов, разработанных на кафедре ТБКиВ, делается вывод о том, что песчаные бетоны также содержат в своем составе условные реологические матрицы, но в отличие от щебеночных бетонов их две, а не три. Эти матрицы условно разделены по масштабному уровню дисперсности и зернистости компонентов. Топологическая структура высокопрочных песчаных бетонов нового поколения кардинально отличается не только от структуры бетонов старого и переходного поколения, но и от структуры малоцементных бетонов нового поколения. Согласно равенству суммы абсолютных объемов компонентов 1000 литрам, при добавлении в малоцементный (расход цемента 190–250 кг/м<sup>3</sup>) бетон нового поколения дисперсного наполнителя, равного массе цемента и трех-четырёхкратного количества тонкого песка фр. 0,16–0,63 мм должно существенно снизиться количество песка-заполнителя с «плавающим» размещением зерен его в тонкозернисто-дисперсной водной суспензии. Такой бетон должен быть малопесчаным, если под песком понимать традиционно песок как мелкий заполнитель.

Для исследований осуществлен подбор 25 составов порошково-активированных песчаных бетонов с расходами цемента от 190 до 720 кг/м<sup>3</sup>, с прочностью 25–140 МПа, изготовленных из бетонных смесей с вариацией консистенций от умеренно-жестких с Ж 15–30 с до высокопластичных и самоуплотняющихся с ОК=17...26 см. Был использован Красноярский цемент ПЦ 500 Д0 и два вида гиперпластификаторов на поликарбосилатной основе, песок молотый (П<sub>М</sub>) и песок тонкозернистый (П<sub>Т</sub>) кварцевый (К) и полевошпатовый (П), микрокремнезем, песок-заполнитель (П<sub>З</sub>). Результаты испытаний семи наиболее эффективных бетонов, выбранных из 25 составов, представлены в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, в этих составах были достигнуты низкие удельные расходы цемента на единицу прочности от 2,94 до 5,0 кг/МПа, существенно ниже, чем в бетонах переходного поколения с МК и ГП. Получены высокопрочные бетоны с наиболее оптимальными составами по соотношению компонентов с расходом цемента 385–394 кг/м<sup>3</sup>. Прочност-

ные показатели, как и  $\sigma_{Rc}^{уд}$ , а также реотехнологические показатели бетонных смесей изменяются не только от изменения весовых и объемных соотношений компонентов бетона, но и от вида и количества цемента, диспергирующего действия СП. Это подтверждается результатами испытаний. Особо следует выделить бетон второго состава с расходом цемента 394 кг/м<sup>3</sup> с прочностью на осевое сжатие 134 МПа. При этом бетонная смесь имела осадку конуса 16 см, а бетон – рекордно низкий удельный расход цемента 2,94 кг/МПа. Полученные показатели для песчаного бетона можно считать уникальными в связи с тем, что ни в зарубежной, ни отечественной литературе не удалось обнаружить аналогов такому бетону. Важно то, что содержание МК в нем составляло всего 10% от массы цемента. Это еще раз подтверждает ранее выдвинутое на кафедре ТБКиВ положение о том, что только через рациональную реологию бетонных смесей, полученную кардинальным изменением рецептуры сухих компонентов с помощью порошковой активации, усиливающей действие СП и ГП, можно достигнуть прогресса в получении не только высокоэффективных щебеночных бетонов нового поколения, но и порошково-активированных песчаных.

Анализ рецептуры бетонов по безразмерным показателям – соотношению компонентов бетона по массе и объему, – и численным показателям условных реологических матриц показывает, что для каждого расхода цемента эти показатели должны быть строго индивидуальны. При этом для подбора состава бетона можно использовать выявленные аналитические зависимости (рисунок 1), учитывая зависимость водоцементного отношения от расхода цемента (рисунок 2) для необходимой прочности бетона (рисунок 3). В связи с тем, что бетонные смеси имели различную консистенцию, подбор состава бетона может быть надежно осуществлен только для указанных ее значений.

Наиболее правильный подбор составов эффективных бетонов нового поколения с разной пластичностью и жесткостью бетонных смесей необходимо осуществлять, используя составы самых эффективных высокопластичных и самоуплотняющихся бетонов, например, состав №3 и №4 (таблица 1). Пластичные, малопластичные и жесткие смеси для заводской технологии, использующей виброуплотнение, создаются путем уменьшения содержания воды с замещением ее удаленного объема суммированным объемом всех компонентов пропорционально содержанию их в бетоне. Изучены составы смесей СУБ и бетонов жесткостью 50 с, полученных с более высокой прочностью от 100 МПа до 120 МПа с понижением количества воды и с увеличением расхода цемента на 11 кг.

Представлены результаты прочностных свойств пластифицированного порошково-активированного песчаного бетона с использованием добавки наногидросиликатов кальция. В гранулометрическом составе гидросиликатов 60% частиц имели размер 450–500 нм, остальное количество частиц с размерами 120–450 нм. Как показали результаты, действие добавки гидро–

Таблица 1 – Составы, характеристики бетонных смесей и прочностные показатели наиболее эффективных порошково-активированных песчаных бетонов

№№ составов		1	2	3	4	5	6	7
Расходы компонентов на 1м <sup>3</sup> , характеристика бетонной смеси и бетонов		ПАЩБ-54	ПАЩБ-183	ПАЩБ-171	ПАЩБ-159	ПАЩБ-158	ПАЩБ-164	ПАЩБ-161
Цемент, кг		487	394**	391	385	378	331	266
Песок молотый (ПМ) кварцевый или полевошпатовый с S <sub>уд</sub> =3300-4000 см <sup>2</sup> /г, кг		366 П	295 К	294 К	289 К	284 К	265 К	266 К
Песок гонкозернистый (ПГ) кварцевый или полевошпатовый фракции 0,16-0,63 мм, кг		392 П	568 К	548 К	539 П	530 П	600 П	733 П
МК Новокузнецкий, 10% от Ц		–	39,4	39,1	38,5	37,8	33,1	26,6
Песок-заполнитель (ПЗ) фр.0,63-5мм, кг		993	962	952	937,5	922	895	893
ГП Melflux 5581F, % от Ц		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9*	0,9*	0,9*
Вода, л		146	153	153	175	173	171	187
В/Ц		0,300	0,388	0,39	0,454	0,456	0,515	0,7
В/Т		0,065	0,067	0,068	0,08	0,08	0,08	0,085
Осадка конуса смеси, см		4-5	16	24-25	25-26	Ж2	4-5	10-12
R <sub>сж</sub> , МПа	1	–	55,0	40,0	40,0	35,0	22,0	14,0
	7	91,0	85,7	79,0	80,0	75,0	46,0	35,0
	28	114,0	134,0	116,0	113,0	91,8	71,6	53,0
R <sub>изг</sub> , МПа	1	–	7,3	7,6	7,0	6,8	6,0	4,2
	7	10,7	15,9	11,9	10,0	10,5	9,2	7,5
	28	11,6	17,6	14,3	12,4	15,0	11,2	14,0
Удельный расход цемента на единицу прочности Ц <sub>уд</sub> <sup>уд</sup> <sub>Рс</sub>		4,27	2,94	3,37	3,4	4,1	4,6	5,0

\* – смесь гиперпластификаторов Хидетал 9γ ГП + Melflux 5581F;

\*\* – цемент ПЩ 500 Д0 Н (Мордовцемент)

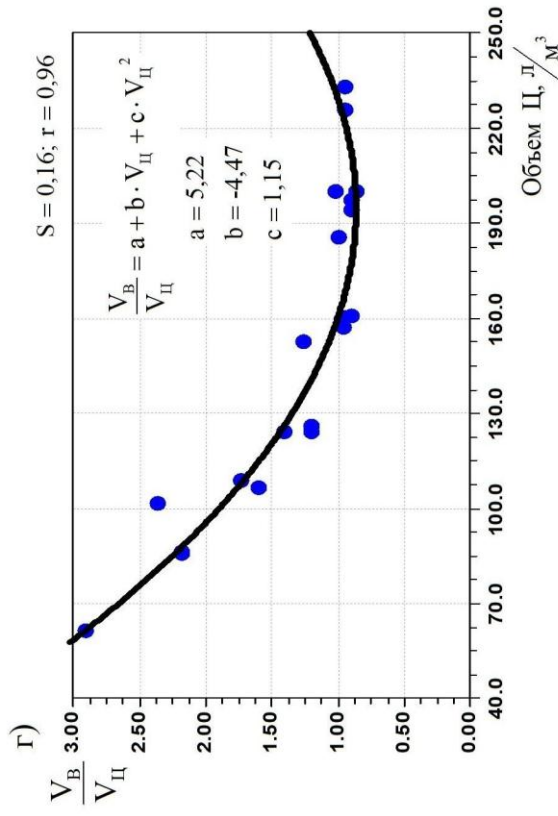
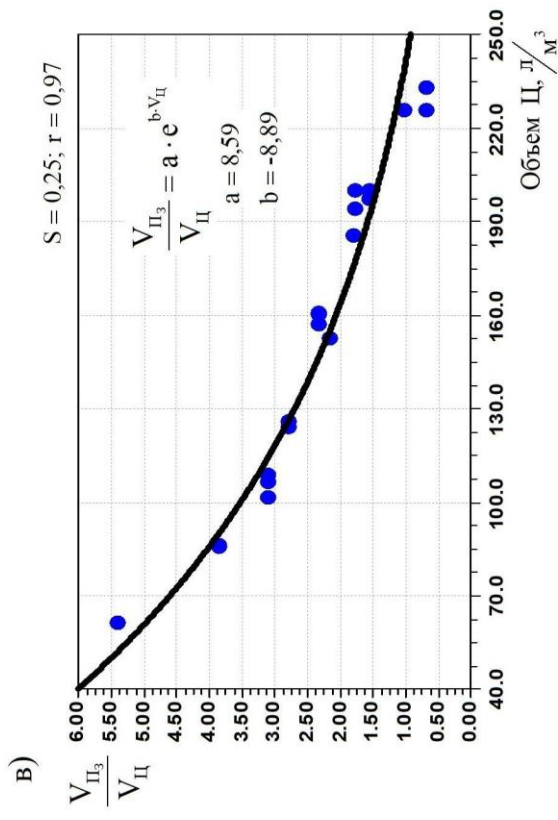
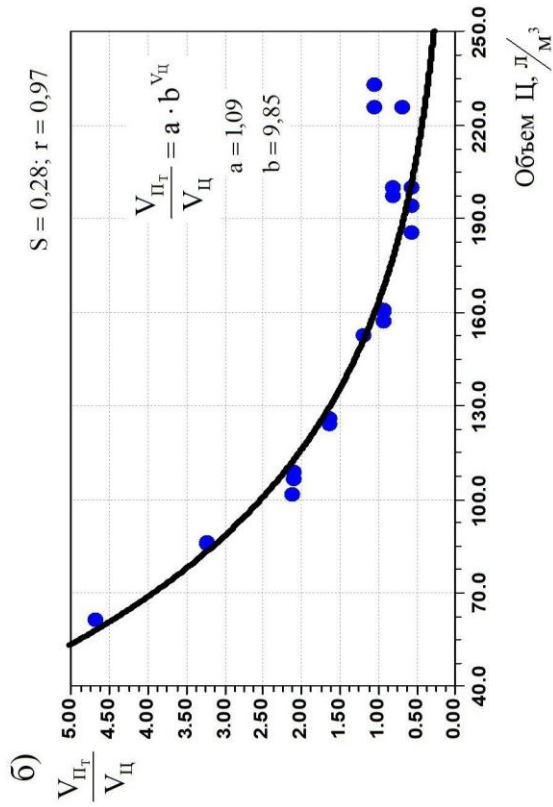
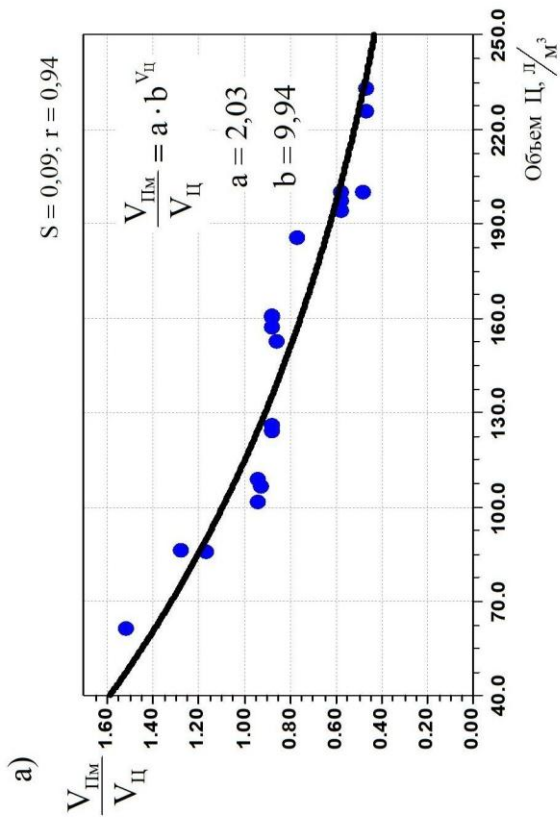


Рисунок 1. Изменение безразмерных параметров отношений объемных расходов компонентов от расхода объема цемента в порошково-активированных песчаных бетонах нового поколения

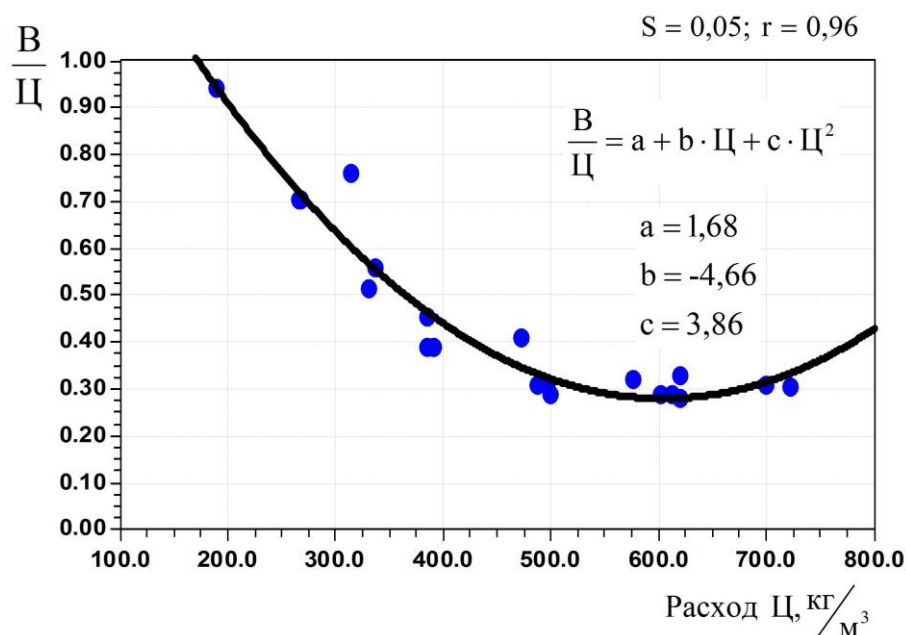


Рисунок 2. Зависимость водоцементного отношения от расхода цемента

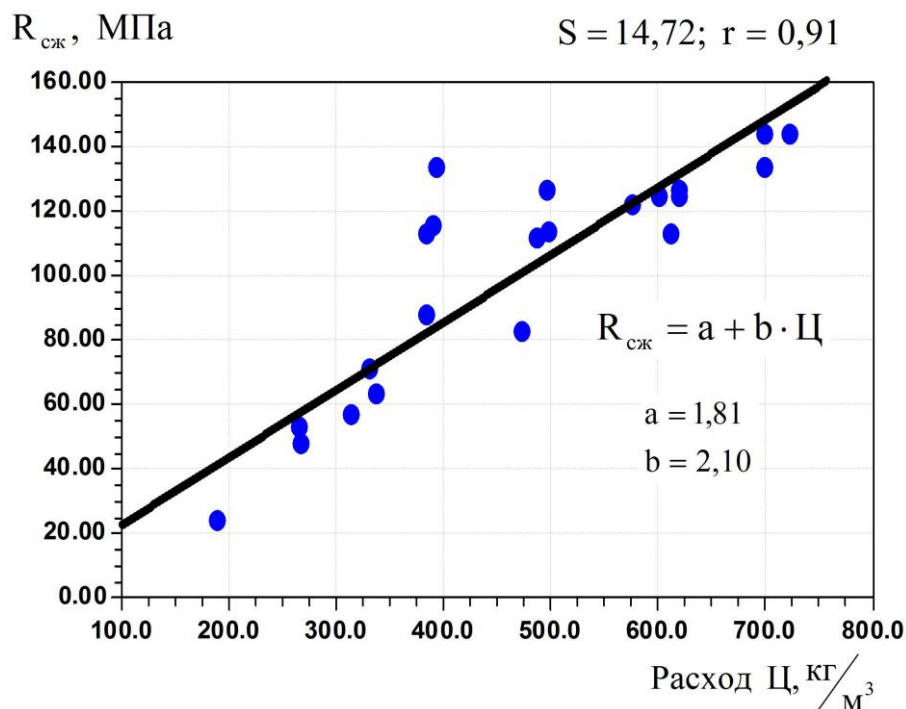


Рисунок 3. Зависимость прочности порошково-активированных песчаных бетонов от расхода цемента

силиката кальция начинает заметно проявляться между шестью и десятью часами после приготовления смеси. Через 6 часов прочность превышает контрольную в 32 раза, через 8 часов – в 9,6 раза и через 10 часов – в 4,5 раза. Через сутки твердения и в дальнейшем прочностные показатели выравниваются. Важно, что через 9–10 часов возможно расплубливание форм при прочности бетона 15–20 МПа и обеспечение дальнейшего твердения изделий при температуре около 20 °С без проведения тепловлажностной обработки.

Выявлено влияние относительной влажности воздуха на твердения самоуплотняющегося реакционно-порошкового бетона с малым количеством воды ( $V/T = 0,1$ ) на прочность. При относительной влажности воздуха 95% и  $75 \pm 5\%$  потеря прочности бетона, твердевшего в менее влажных условиях в течение 28 сут, составила 6,5–7,0% по сравнению с прочностью бетона в более влажных условиях.

**В четвертой главе** представлены результаты испытаний как высокопрочных порошково-активированных песчаных фибробетонов с прочностью 140 МПа на портландцементе ПЦ 500 Д0, так и сверхпрочных с  $R_{сж} = 226$  МПа на белом датском цементе СЕМ 52,5R. Был использован типовой состав реакционно-порошкового бетона с уменьшенным расходом МК до 7% от массы цемента и с добавлением белой сажи «Newsil» БС-115 в количестве 3%. Для дисперсного армирования применялись комбинированная фибра: стальные и углеродные волокна. Наиболее высокие физико-технические показатели были получены на белом высокоалитовом датском цементе (таблица 2). С введением углеродной фибры в количестве 0,5% по объему и стальной фибры диаметром 0,22 мм и длиной 12 мм в количестве 3,0% растекаемость смеси из конуса Хегерманна уменьшилась незначительно. При большей степени армирования (0,5 и 4,6%) расплыв смеси уменьшился существенно в 1,5 раза с 330–340 мм до 220–230 мм. Как следует из результатов испытаний, уже на первые сутки прочность на растяжение при изгибе составила 19,9 МПа при прочности на сжатие 89,2 МПа, на 28-е сутки нормального твердения при прочности на сжатие 198 МПа, прочность при изгибе – 44,3 МПа (испытание балочек  $40 \times 40 \times 160$  мм по трехточечной схеме). Отношение прочности на сжатие к прочности на изгиб оказалось равным 4,47. Этот показатель для обычных высокопрочных неармированных бетонов составляет 8–10, т.е. такие бетоны имеют хрупкий характер разрушения. Уменьшение этого показателя в 2 раза определяет дуктильный (пластичный) характер разрушения. Во втором составе незначительно изменили рецептуру бетона, увеличив расход цемента на 30 кг и фибры на 1,6%. Прочность на растяжение при изгибе достигла 55,5 МПа!, на раскалывание – 14,5 МПа, а на сжатие превысила 200 МПа. Отношение  $R_{сж}/R_{из}$ , равное 4,07, характеризует бетон как дуктильный с высоким коэффициентом трещиностойкости, равным 0,245.

Рассчитан важный технико-экономическим показатель расхода фибры на единицу прироста прочности на растяжение при изгибе, по сравнению с прочностью при изгибе исходного бетона аналогичного состава, но без фибры. Это позволяет осуществлять сравнение расходов фибры в фибробетонах, преимуществ геометрических параметров ее и достигаемых технических свойств фибробетонов. Оценка осуществлялась по формуле

$$\Phi_{\Delta R_{и}}^{уд} = \frac{M_{\phi}}{R_{и}^{\phi} - R_{и}^{\beta}},$$

Таблица 2

Наименование	На 1 м <sup>3</sup> , кг	ρ, кг/м <sup>3</sup>	$\frac{П_М}{Ц}$	$\frac{П_Т}{Ц}$	$\frac{П_З}{Ц}$	$\frac{\sum П}{Ц}$	Прочность МПа, R <sub>из</sub> / R <sub>сж</sub> через сут					
							1	7	28			
Цемент белый Датский СЕМ 52,5R	723	2380	0,4	0,9	0,6	1,9	$\frac{10,2}{54}$	$\frac{11,8}{124}$	$\frac{17,3}{144}$			
Микрокварц ЛГОК (П <sub>М</sub> ) S <sub>уд</sub> = 400 м <sup>2</sup> /кг	289	В/Ц=0,305		В/Т=0,1		ПК Хегерманна 330×340 мм I <sub>ЦД</sub> <sup>П<sub>Т</sub></sup> = 2,47 I <sub>ЦДП<sub>Т</sub></sub> <sup>П<sub>З</sub></sup> = 5,23 K <sub>упл.</sub> = 0,99 C <sub>V</sub> = 0,78	Ц <sub>Rc</sub> <sup>уд</sup> = 5,0 кг/МПа; R <sub>Ц</sub> <sup>уд</sup> = 0,199 МПа/кг; Ц <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 41,8 кг/МПа; R <sub>и</sub> /R <sub>c</sub> = 0,12; R <sub>рас</sub> = 4,5 МПа					
Песок Формовочный ЛГОК (П <sub>Т</sub> ), фр. 0,16-0,63 мм	650	ПК Хегерманна 280×305 мм I <sub>ЦД</sub> <sup>П<sub>Т</sub></sup> = 2,47 I <sub>ЦДП<sub>Т</sub></sub> <sup>П<sub>З</sub></sup> = 5,26 K <sub>упл.</sub> = 0,99 C <sub>V</sub> = 0,78 ρ <sub>б</sub> = 2323 кг/м <sup>3</sup>					Ц <sub>Rc</sub> <sup>уд</sup> = 3,6 кг/МПа; R <sub>Ц</sub> <sup>уд</sup> = 0,278 МПа/кг; Ц <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 16,0 кг/МПа; R <sub>и</sub> /R <sub>c</sub> = 0,223; Φ <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 9,0 кг/МПа					
Песок заполнитель (П <sub>З</sub> ) фр. 1,25-2,5 мм	433											
Микрокремнезем	108											
ГП Melfux 5581F	7,2											
ΣМсух. Вода	2210 220											
Цемент белый Датский СЕМ 52,5R	711,3	2491	0,4	0,9	0,6	1,9	$\frac{19,9}{89,2}$	$\frac{34,7}{160}$	$\frac{44,3}{198}$			
Микрокварц ЛГОК (П <sub>М</sub> ) S <sub>уд</sub> = 400 м <sup>2</sup> /кг	284,5	В/Ц=0,29		В/Т=0,095		ПК Хегерманна 280×305 мм I <sub>ЦД</sub> <sup>П<sub>Т</sub></sup> = 2,47 I <sub>ЦДП<sub>Т</sub></sub> <sup>П<sub>З</sub></sup> = 5,26 K <sub>упл.</sub> = 0,99 C <sub>V</sub> = 0,78 ρ <sub>б</sub> = 2323 кг/м <sup>3</sup>	Ц <sub>Rc</sub> <sup>уд</sup> = 3,6 кг/МПа; R <sub>Ц</sub> <sup>уд</sup> = 0,278 МПа/кг; Ц <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 16,0 кг/МПа; R <sub>и</sub> /R <sub>c</sub> = 0,223; Φ <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 9,0 кг/МПа					
Песок Формовочный ЛГОК (П <sub>Т</sub> ), фр. 0,16-0,63 мм	640	ПК Хегерманна 220×230 мм I <sub>ЦД</sub> <sup>П<sub>Т</sub></sup> = 2,48 I <sub>ЦДП<sub>Т</sub></sub> <sup>П<sub>З</sub></sup> = 5,26 K <sub>упл.</sub> = 0,99 C <sub>V</sub> = 0,79 ρ <sub>б</sub> = 2362 кг/м <sup>3</sup>								Ц <sub>Rc</sub> <sup>уд</sup> = 3,28 кг/МПа; R <sub>Ц</sub> <sup>уд</sup> = 0,305 МПа/кг; Ц <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 13,35 кг/МПа; R <sub>и</sub> /R <sub>c</sub> = 0,245; Φ <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 9,55 кг/МПа; R <sub>рас</sub> = 14,5 МПа		
Песок заполнитель (П <sub>З</sub> ) фр. 1,25-2,5 мм	422, 3											
Микрокремнезем	107											
ГП Melfux 5581F	7,1											
Углерод. волокна, 0,5% от V	9,0											
Фибра стальная, 3% от V	236											
ΣМсух. без фибры Вода	2172 207											
М <sub>б,с</sub> с фиброй	2624											
Цемент белый Датский СЕМ 52,5R	741	2600	0,4	0,86	0,6	1,83	—	$\frac{40,3}{181}$	$\frac{55,5}{226}$			
Микрокварц ЛГОК (П <sub>М</sub> ) S <sub>уд</sub> = 400 м <sup>2</sup> /кг	296, 4	В/Ц=0,278		В/Т=0,095		ПК Хегерманна 220×230 мм I <sub>ЦД</sub> <sup>П<sub>Т</sub></sup> = 2,48 I <sub>ЦДП<sub>Т</sub></sub> <sup>П<sub>З</sub></sup> = 5,26 K <sub>упл.</sub> = 0,99 C <sub>V</sub> = 0,79 ρ <sub>б</sub> = 2362 кг/м <sup>3</sup>	Ц <sub>Rc</sub> <sup>уд</sup> = 3,28 кг/МПа; R <sub>Ц</sub> <sup>уд</sup> = 0,305 МПа/кг; Ц <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 13,35 кг/МПа; R <sub>и</sub> /R <sub>c</sub> = 0,245; Φ <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 9,55 кг/МПа; R <sub>рас</sub> = 14,5 МПа					
Песок Формовочный ЛГОК (П <sub>Т</sub> ), фр. 0,16-0,63 мм	637, 5	ПК Хегерманна 220×230 мм I <sub>ЦД</sub> <sup>П<sub>Т</sub></sup> = 2,48 I <sub>ЦДП<sub>Т</sub></sub> <sup>П<sub>З</sub></sup> = 5,26 K <sub>упл.</sub> = 0,99 C <sub>V</sub> = 0,79 ρ <sub>б</sub> = 2362 кг/м <sup>3</sup>								Ц <sub>Rc</sub> <sup>уд</sup> = 3,28 кг/МПа; R <sub>Ц</sub> <sup>уд</sup> = 0,305 МПа/кг; Ц <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 13,35 кг/МПа; R <sub>и</sub> /R <sub>c</sub> = 0,245; Φ <sub>Rи</sub> <sup>уд</sup> = 9,55 кг/МПа; R <sub>рас</sub> = 14,5 МПа		
Песок заполнитель (П <sub>З</sub> ), фр. 1,25-2,5 мм	422, 4											
Микрокремнезем	52											
Белая сажа Newsil 115	22,4											
СП Sika ViscoCrete-20 Gold	7,4											
Углерод. волокна, 0,5% от V	9											
Фибра стальная, 4,6% от V	356											
ΣМсух. без фибры Вода	2179 207											
М <sub>б,с</sub> с фиброй	2751											



где  $M_{\phi}$  – масса фибры, кг/м<sup>3</sup>;  $R_{и}^{\phi}$  – прочность на растяжение при изгибе фибробетона;  $R_{и}^{\delta}$  – прочность на растяжение при изгибе бетона.

Исходя из результатов (таблица 2) для бетона с 3,5% фибры  $\Phi_{\Delta R_{и}}^{уд}$  равен 9,0 кг/МПа, а с 5,1% фибры – 9,5 кг/МПа.

Предлагается также устанавливать фактическую плотность бетонной матрицы без фибры и воздухововлекающую функцию фибры и микрофибры по экспериментальным значениям плотности фибробетонной смеси по формуле

$$\rho_{\delta} = \frac{M_{\phi\delta} - \mu \cdot \rho_{\phi}}{V_{\phi\delta} \cdot (1 - \mu)},$$

где  $M_{\phi\delta}$  – масса фибробетонной смеси;  $\mu$  – объемная степень армирования бетона в долях единицы;  $\rho_{\phi}$  – истинная плотность фибры, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\phi\delta}$  – объем фибробетона, равный 1 м<sup>3</sup>.

Проведен анализ изменения прочности на осевое растяжение фибробетона в зависимости от объемной степени армирования бетона (1 и 3%), прочности бетона на осевое растяжение (2, 3, 4 МПа), прочности фибры на растяжение (500; 1000; 1500; 2500 МПа) и объемной концентрации бетона в одном кубометре (99 и 97%) по общеизвестной формуле

$$R_{p}^{\phi\delta} = R_{p}^{\delta} \cdot C_{v}^{\delta} + \frac{1}{3} \cdot R_{p}^{\phi} \cdot (1 - C_{v}^{\delta}),$$

где  $R_{p}^{\phi\delta}$  – прочность фибробетона на осевое растяжение;  $R_{p}^{\delta}$  – прочность бетона на осевое растяжение;  $R_{p}^{\phi}$  – прочность фибры на растяжение;  $C_{v}^{\delta}$  – объемная концентрация бетона;  $C_{v}^{\phi}$  – объемная концентрация фибры.

Из расчетных результатов следует, что увеличение прочности стали на растяжение в 3 раза при прочности бетона на осевое растяжение, равной 2–4 МПа, и введение фибры 1 и 3% по объему, обеспечивает повышение прочности фибробетона в 2,2–4,7 раза по сравнению с прочностью исходной бетонной матрицы.

Теоретически проанализирована работа гладкой стальной фибры в бетоне и фибры с анкерующими концевыми элементами в форме сферических окончаний и загнутых на 180° концов, с учетом временного сопротивления фибры на разрыв, прочности стали на срез, прочности сцепления фибры с высокопрочным бетоном нового поколения, диаметра фибры и сферического элемента и длины анкеровки до начала трещины.

Установлено, что вся гладкая фибра выдергивается из бетона, фибра с загнутыми концами частично разрывается, а фибра со сферическими окончаниями разрывается вся.

Были проведены испытания бетона и фибробетона на долговременную прочность при сжатии и на растяжение при изгибе. Установлено, что прирост прочности на сжатие различных составов бетона за 808–964 сут твер-

дения находится в пределах от 54 до 81%, а прирост прочности на растяжение при изгибе равен от 26 до 50% от 28-суточной. Для фибробетона прирост прочности на сжатие за 364–422 сут равен 14–24%, а при изгибе 5–7%.

Рассмотрено капиллярное насыщение при подсосе воды и водопоглощение высокопрочных порошково-активированных песчаных бетонов нового поколения. Из результатов следует, что капиллярное насыщение по массе таких бетонов за 7 сут меняется от 0,09 до 0,161%, а по объему – от 0,21 до 0,367%. При этом капиллярное насыщение песчаного бетона старого поколения по массе за 7 сут составляет 1,03%, а по объему 2,21%.

Водопоглощение порошково-активированных песчаных бетонов по массе за 3 сут составляет 0,88–1,14%, за 35 сут – 1,13–1,35%, а по объему – 2,64–3,10%. Водопоглощение по массе песчаного бетона старого поколения за 3 сут составляет 4,0%, за 35 сут 4,34%, а по объему – 9,32%, т.е. в 3 раза выше. Объем резервных пор в порошково-активированных песчаных бетонах, насыщающихся водой после 4-суточного водопоглощения до 35-суточного, составляет от 19 до 22%. У песчаного бетона старого поколения объем остаточных резервных пор равен 6%. Из результатов следует, что порошково-активированные песчаные бетоны должны иметь более высокую морозостойкость, чем бетоны старого поколения. Это подтвердилось непосредственными испытаниями бетонов на морозостойкость: они выдержали более 500 циклов попеременного замораживания-оттаивания без потери прочности. После 500 циклов испытания были прекращены.

Изучена усадка порошково-активированных песчаных бетонов за 180–220 сут. Она варьируется от 0,22 до 0,32 мм/м, а у фибробетона от 0,18 до 0,25 мм/м. Деформации набухания порошково-активированных песчаных бетонов составляют 0,20–0,24 мм/м и во всех случаях меньше деформаций усадки.

Рассчитана усадка бетона  $\xi_{yc}^b$  в зависимости от усадки цементного камня, объема введенных дисперсных наполнителей и песчаных заполнителей. Она хорошо коррелирует со значениями фактической усадки бетона.

**В пятой главе** приведены сведения по технико-экономическому обоснованию и о внедрении порошково-активированных песчаных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности ( $C_{Rc}^{y_d} = 3,4$  кг/МПа) в производство тротуарных плит, бордюрного камня и покрытий промышленных полов. Приводятся экономические преимущества по снижению материалоемкости, рациональному природопользованию и энергосбережению с использованием сверхпрочного бетона.

Предложен вариант технологической схемы изготовления порошково-активированных песчаных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности. Разработанная схема предусматривает виды оборудования и последовательность комплексной подготовки цементно-водно-дисперсной матрицы, включающую супер- или гиперпластификатор с использованием мельницы для помола молотого кварцевого пес-

ка, подготовки тонкозернистого кварцевого песка фракции 0,16–0,63 мм и песка заполнителя фракции 0,63–5,0 мм. Для производства сверхвысокопрочных песчаных бетонов и фибробетонов в схеме предусмотрено использование чистых и фракционированных тонких, средних или крупных песков, что обусловило наличие в ней технологических операций по их сушке и пневматической сортировке, точному дозированию.

Приводятся расчеты технико-экономического эффекта в сравнении с песчаным бетоном старого поколения М500, с жесткостью 5–10 с, изготовленного на основе традиционной рецептуры. В порошково-активированном бетоне с подвижностью П4–П5 экономия только за счет снижения стоимости сырьевых компонентов составила 350 руб./м<sup>3</sup>.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Состав и свойства самых распространенных песчаных бетонов (мелкозернистых или пескобетонов), производимых в России, не отвечают прогрессивным техническим и экономическим требованиям в связи с повышенным расходом портландцемента на один кубометр бетона при прочности его на сжатие (М150–М600). При этом удельный расход цемента на единицу прочности при сжатии находится в пределах 8–14 кг/МПа и более. Низкая прочность матрицы не позволяет получать высокоэффективные фибробетоны и экономить стальную фибру.

2. На основе теоретических представлений о возможности достижения максимальных водоредуцирующих эффектов суперпластификаторов в дисперсных цементно-водно-минеральных системах показано, что песчаный бетон нового поколения, кроме дисперсного цемента, должен дополнительно включать комбинацию дисперсных и тонкозернистых добавок: молотые природные пески или микрокварц, реакционно-активные пуццоланические добавки и тонкие пески при строго оптимальных соотношениях, совместно усиливающих реологическое действие СП или ГП. Песчаные бетоны нового поколения должны быть 7-8-компонентными с четырех-пятикомпонентной водной порошково-активированной матрицей, не только с целью повышения прочности бетонов, но и для существенной минимизации расхода цемента, что позволяет называть такие бетоны порошково-активированными.

3. Выявлено, что в разработанных 7-8-компонентных пластифицированных песчаных бетонах нового поколения путем оптимальных изменений соотношения дисперсных, тонкозернистого, грубозернистого минеральных компонентов, цемента и воды, при расходах цемента 190–720 кг/м<sup>3</sup> достигнут низкий удельный расход цемента на единицу прочности 2,94–7,0 кг/МПа для классов бетона по прочности на сжатие В15–В120.

4. Новая рецептура порошково-активированных песчаных бетонов формирует в бетонной смеси две условные реологические матрицы, классифицируемые по масштабным уровням дисперсности и зернистости компонентов. Показано, что с использованием матриц первого и второго масштабного уровней можно определить условные реологические критерии, характери-

зующие степень раздвижки зерен тонкозернистого песка фр.0,16–0,63 мм, среднезернистого песка-заполнителя. Исходя из этого, топологическая структура ПАПБ характеризуется двумя коэффициентами раздвижки зерен, в отличие от бетонов старого поколения, где коэффициент один.

5. Впервые установлены численные значения безразмерных соотношений компонентов по массе и объему для 25 составов ПАПБ, а также условные реологические критерии, позволяющие оценить по расходу цемента и свойствам бетона степень оптимальности подбора составляющих бетонов. Для наиболее оптимальных составов с расходами цемента 370–394 кг/м<sup>3</sup> получены высокопрочные песчаные бетоны с прочностью до 134 МПа из самоуплотняющихся бетонных смесей для бетонирования монолитных конструкций и для заводской технологии сборного железобетона и фибробетона.

6. Впервые получен сверхвысокопрочный самоуплотняющийся порошково-активированный песчаный фибробетон классом по прочности В150 и с расходом цемента 711 кг/м<sup>3</sup> ( $C_{R}^{уд} = 3,6$  кг/МПа), за счет порошковой и тонкозернистой активации его молотым кварцевым песком, МК, тонким песком фракции 0,16–0,63 мм, стальной фибры 3%, а также углеродных волокон 0,5% по объему бетона. Теоретически доказано, что в фибробетонах стальная фибра должна иметь надежные анкерующие концевые элементы.

7. В связи с высокой востребованностью бетонов общестроительного назначения с наиболее распространенными классами по прочности В15–В45 (М200–М600), которые изготавливаются в практике в настоящее время в основном с расходами цемента 250–500 кг/м<sup>3</sup> и более, разработаны экономичные малоцементные бетоны с расходами цемента 190–280 кг/м<sup>3</sup> с прочностями от 25 до 90 МПа ( $C_{R}^{уд} = 4–7$  кг/МПа). При этом бетоны нового поколения, при равной прочности бетонов старого и переходного поколения, принципиально отличаются более низкими капиллярной пористостью, водопоглощением и высокой морозостойкостью. В таких бетонах доля молотого кварцевого песка повышается по отношению к цементу до 80–130%, доля тонкого песка до 250–400%, а доля песка-заполнителя снижается по сравнению с бетоном старого поколения на 244–470%.

8. Впервые изучены основные физико-механические и гигрометрические свойства порошково-активированных песчаных бетонов и фибробетонов. Для фибробетона прочность на осевое сжатие составляет 140–200 МПа; прочности на растяжение при изгибе – 17,4–44,0 МПа; усадка – 0,22–0,30 мм/м; водопоглощение через 3 сут от 0,88 до 1,14% по массе.

9. Показано, что введение в порошково-активированные песчаные бетоны разработанной нанометрической добавки гидросиликатов кальция, модифицированной ускорителем твердения и ингибитором коррозии стали, позволяет значительно ускорить набор их прочности через 8–10 ч при нормальном твердении и осуществлять распалубку изделий.

10. Результаты диссертационной работы получили внедрение в ООО «Бессоновский домостроительный комбинат» г. Пензы и Пензенской области, осуществлена опытно-промышленная апробация порошково-активированного песчаного бетона в ООО «Новые технологии строительства» г. Красноярск и ООО «Новые технологии в строительстве» г. Москвы. Разработаны варианты технологической схемы производства ПАПБ и ПАПФБ.

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

#### **Публикации в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ:**

1. Мороз, М.Н. Эффективный гидрофобизатор «ПРИМ-1». Основные физико-технические свойства модифицированных материалов / М.Н. Мороз, С.И. Егоров, И.Ю. Троянов, **В.М. Володин** // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №2. – С.42–47.

2. Калашников, В.И. Высокопрочные порошково-активированные пропариваемые песчаные бетоны нового поколения / В.И. Калашников, Д.М. Валиев, Е.В. Гуляева, **В.М. Володин** // Известия вузов. Строительство. – 2011. – №5. – С.14–19.

3. Мороз, М.Н. Гидрофобизатор для строительных материалов ПРИМ-1 / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, **В.М. Володин** // Строительные материалы. – 2011. – №8. – С.51–53.

4. Калашников, В.И. Пропариваемые бетоны нового поколения / В.И. Калашников, Д.М. Валиев, **В.М. Володин**, Е.В. Гуляева // Бетон и железобетон. – 2011. – №5. – С.2–5.

5. Калашников, В.И. Высокоэффективные порошково-активированные бетоны различного функционального назначения с использованием суперпластификаторов / В.И. Калашников, Е.В. Гуляева, Д.М. Валиев, **В.М. Володин**, А.В. Хвастунов // Строительные материалы. – 2011. – №11. – С.44–47.

6. Мороз, М.Н. Изменение длительной водостойкости композиционных материалов, содержащих водостойкий и неводостойкий компоненты / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, П.Г. Василик, **В.М. Володин** // Строительные материалы. – 2012. – №1. – С.42–44.

7. Калашников, В.И. Ресурсосберегающие порошковые фибробетоны с использованием техногенных отходов / В.И. Калашников, В.С. Демьянова, **В.М. Володин**, А.Д. Гусев // Строительные материалы. – 2012. – №8. – С.52–54.

#### **Публикации в других изданиях:**

8. Калашников, В.И. Обеспечение оптимальной топологии самоуплотняющихся бетонных смесей для высокопрочных бетонов / В.И. Калашников, С.В. Ананьев, В.П. Архипов, М.Н. Мороз, В.М. Володин, Д.М. Валиев // Но-

вые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза. – 2009. – С.46–51.

9. Калашников, В.И. Влияние супер- и гиперпластификаторов на растекаемость суспензий различных цементов и цементно-минеральных систем / В.И. Калашников, В.М. Володин, Д.М. Валиев, Е.В. Гуляева // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: Материалы V Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Пенза. – 2010. – С.81–85

10. Гуляева, Е.В. Щебеночные и песчаные бетоны нового поколения / Е.В. Гуляева, В.М. Володин, Д.М. Валиев, В.И. Калашников // Междунар. семинар-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей «Бетон». – М., 2010. – С. 15–18.

11. Мороз, М.Н. Влияние циклического увлажнения-высушивания на прочность гидрофобизированных материалов с модификатором ПРИМ-1 / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, В.М. Володин, Д.М. Валиев, О.В. Суздальцев // Актуальные вопросы строительства: Десятая Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ГУ. – 2010. – С.220–223.

12. Мороз, М.Н. Изучение кинетики водопоглощения, капиллярного подсоса и сорбционного увлажнения карбонатно-шлакового материала, модифицированного гидрофобизатором «ПРИМ-1» / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, С.Л. Журавлева, В.М. Володин, С.С. Герасимов // Актуальные вопросы строительства: Десятая Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ГУ. – 2010. – С.224–229.

13. Volodin V.M. Dry fine grained and powdered concrete mixes of new generation / V.M. Volodin // The 1<sup>st</sup> International Seminar –Contest for young scientists and postgraduate students specializing in binding agents, concrete and dry mixtures. Alitinform. – 2010. – № 6 (17). – С.88–92.

14. Валиев, Д.М. Песчаные и щебеночные бетоны нового поколения / Д.М. Валиев, В.М. Володин, Е.В. Гуляева, В.И. Калашников // Сб. научно-исследовательских работ финалистов конкурса аспирантов и молодых ученых в области энергосбережения в промышленности. – Новочеркасск. – 2010. – С.150–154.

15. Мороз, М.Н. Разработка гидрофобного модификатора «ПРИМ-1» для создания долговечных строительных материалов / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, В.М. Володин, Д.М. Валиев // Популярное бетоноведение: V междунар. выставка-конференция. – 2010. – С.49–52.

16. Мороз, М.Н. Влияние циклического увлажнения-высушивания на прочность гидрофобизированных материалов с модификатором ПРИМ-1 / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, В.М. Володин, Д.М. Валиев, О.В. Суздальцев // Актуальные вопросы строительства: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Ч. 1. – Саранск. – 2010. – С.220–223.

17. Калашников, В.И. Реологическая активность супер- и гиперпластификаторов в цементно-минеральных дисперсных системах и получение самоуплотняющихся бетонов нового поколения / В.И. Калашников, Е.В. Гуляева, В.М. Володин, Д.М. Валиев, Р.А. Дрянин // Социальные стандарты качества жизни в архитектуре, градостроительстве и строительстве: РААСН, тр. российской академии архитектуры и строительных наук. – Москва-Орел. – 2011. С.321–325.

18. Калашников, В.И. Порошково-активированные тонкозернистые сухие бетонные смеси для производства различных бетонов / В.И. Калашников, В.М. Володин, Д.М. Валиев, С.В. Ананьев, И.Ю. Троянов // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2010 году: РААСН, науч. тр. российской академии архитектуры и строительных наук. – Москва-Орел. – 2011. – С. 285-289.

19. Калашников, В.И. Бетоны нового поколения и реологические матрицы / В.И. Калашников, С.В. Ананьев, И.Ю. Троянов, Е.В. Гуляева, В.М. Володин, Д.М. Валиев, Р.А. Дрянин, А.В. Хвастунов // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза. – 2011. – №1. – С.35–41.

20. Калашников, В.И. Влияние вида и дозировки гиперпластификатора на растекаемость реакционно-порошковых смесей и свойства бетонов / В.И. Калашников, С.В. Ананьев, В.М. Тростянский, В.М. Володин, Д.М. Валиев, Е.В. Гуляева, А.В. Хвастунов // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза – 2011. – С.187–191.

21. Калашников, В.И. Прочностные показатели сверхвысокопрочных реакционно-порошковых фибробетонов / В.И. Калашников, С.В. Ананьев, В.М. Володин, Д.М. Валиев, Е.В. Гуляева, А.В. Хвастунов, И.М. Куликов // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза. – 2011. –С.215–219.

22. Калашников, В.И. Порошковые фибробетоны со сверхвысокой прочностью с дисперсным армированием фиброй / В.И. Калашников, Е.В. Гуляева, В.М. Володин, Д.М. Валиев, Р.А. Дрянин, С.В. Ананьев // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза. – 2011. – №1. – С.41–48.

23. Гуляева, Е.В. Порошково-активированные бетоны с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / Е.В. Гуляева, Д.М. Валиев, В.М. Володин, В.И. Калашников // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: VI Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза. – 2011. – С.32-36.

24. Гуляева, Е.В. Оценка эффективности действия различных супер- и гиперпластификаторов в цементных суспензиях / Е.В. Гуляева, Д.М. Валиев, В.М. Володин, В.И. Калашников // Теория и практика повышения эффек-

тивности строительных материалов: VI Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза. – 2011. – С.54–57.

25. Калашников, В.И. Высокоэффективные порошковые и реакционно-порошковые высокопрочные и сверхпрочные бетоны и фибробетоны / В.И. Калашников, В.М. Володин, Д.М. Валиев, Е.В. Гуляева // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: VI Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза. – 2011. – С. 82–88.

26. Kalashnikov V.I. Dry fine grained and powdered concrete mixes of new generation / V.I. Kalashnikov, V.M. Volodin, D.M. Valiev, E.V. Guljaeva // Scientific basis of modern technologies: experience and prospects. khmel'nitsky – gliwice – jaremche. –2011. – С.488–496

27. Калашников, В.И. Малоцементные бетоны нового поколения общестроительного назначения / В.И. Калашников, В.М. Володин, Д.М. Валиев, Е.В. Гуляева // II Междунар. семинар-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей. – Санкт-Петербург. – 2011. – С. 53–57.

28. Володин, В.М. Высокоэффективные порошково-активированные высокопрочные и сверхпрочные песчаные бетоны и фибробетоны / В.М. Володин // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза. – 2011. – С. 9–16.

29. Калашников, В.И. Морозостойкость малоцементных порошково-активированных щебеночных бетонов нового поколения / В.И. Калашников, В.М. Володин, Е.В. Гуляева, И.Ю. Троянов, И.М. Куликов // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза. – 2011. – С.33-37.

Володин Владимир Михайлович

**ПОРОШКОВО-АКТИВИРОВАННЫЙ ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ПЕСЧАНЫЙ  
БЕТОН И ФИБРОБЕТОН С НИЗКИМ УДЕЛЬНЫМ  
РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА НА ЕДИНИЦУ ПРОЧНОСТИ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Подписано к печати 13.11.2012. Формат 60x84 1/16  
Бумага писчая белая. Печать на ризографе. Усл. печ. л. 1,0.  
Заказ № 229. Тираж 100 экз.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.  
E-mail: postmaster@pgasa.com.ru