

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 691.322 : 666.972

ЛЕОНОВИЧ
Ирина Анатольевна

**ТЕХНОЛОГИЯ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО И ПОРИЗОВАННОГО
МИКРОСФЕРАМИ ЗОЛ УНОСА ФИБРОБЕТОНА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.05
«Строительные материалы и изделия»

Минск 2012

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете и государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»

Научный руководитель

Батяновский Эдуард Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав.кафедрой «Технология бетона и строительные материалы» Белорусского национального технического университета,
г. Минск

Официальные оппоненты

Блещик Николай Павлович,
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского республиканского унитарного предприятия по строительству «Институт БелНИИС», г. Минск;

Бозылев Василий Васильевич,
кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Строительное производство» УО «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк

Оппонирующая организация

Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС имени С.С. Атаева»,
г. Минск

Защита состоится 30 ноября 2012 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, главный корпус, ауд. 202. Телефон ученого секретаря 8(017) 265-95-87. E-mail: sawa1950@mail.ru.

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 26 октября 2012 г.

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



П.И.Юхневский

© Леонович И.А., 2012
© БНТУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, одним из перспективных направлений повышения энергоэффективности жилых и общественных зданий является применение многослойных ограждающих конструкций, в которых внешние и внутренние слои целесообразно изготавливать из тонкостенных бетонных элементов с высоким качеством наружных поверхностей. В результате анализа мировой строительной практики установлено, что наиболее эффективными конструктивными элементами являются тонкостенные плиты, изготавливаемые из дисперсноармированного мелкозернистого бетона. В качестве фибры могут применяться минеральные и полимерные волокна. Выбор конструктивных решений ограждающих элементов и подбор составов мелкозернистого фибробетона осуществляется опытным путем, так как до сих пор не разработаны методики расчета фибробетонных конструкций и проектирования состава фибробетона с применением неметаллической фибры. Не изучено также влияние поризации фибробетона микросферами зол уноса, которая существенно повышает теплофизические качества ограждающих элементов.

В этой связи предлагаемая работа, направленная на изучение физико-механических свойств мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона, разработку и внедрение на основе их результатов технологии производства тонкостенных конструктивных элементов многослойных наружных стен, является весьма актуальной. Промышленное использование результатов работы позволит отказаться от импорта соответствующих изделий ограждающих конструкций.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами.

Теоретические и экспериментальные исследования по теме диссертации проводились автором в рамках госбюджетных тем: ГБ 0604, раздел «Обеспечение требуемых эксплуатационных показателей мелкозернистого фибробетона для тонкостенных фасадных элементов» (№ госрегистрации 2006801, срок выполнения 01.02.06 – 31.12.10); ГБ 1116 раздел «Разработка конструкций и технологии изготовления фасадных однослойных и многослойных панелей из мелкозернистого фибробетона» (№ госрегистрации 20111323, срок выполнения 03.01.11 – 31.12.15), соответствующих п. 9.2 Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585.

Объектом исследований являются цементные фибробетоны с мелкозернистыми заполнителями плотной и поризованной структуры.

Предметом исследований является структура и свойства мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона.

Цель исследования. Целью исследований являлась разработка технологии получения мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона с требуемыми физико-механическими свойствами и технологии изготовления тонкостенных конструктивных фасадных элементов с его применением.

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

– разработан алгоритм оптимизации состава и свойств мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона, соответствующих нормативным требованиям, предъявляемым к материалам фасадных облицовочных элементов наружных стен зданий, с учетом данных о свойствах применяемых компонентов и влияния эксплуатационных факторов;

– разработаны методики оценки физико-механических свойств мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона в тонких конструктивных слоях на основе планирования многофакторного эксперимента с учетом особенностей литьевой технологии и прессования при изготовлении изделий;

– усовершенствована модель расчета модуля упругости фибробетона в зависимости от содержания и модульности фибры путем учета ее геометрических параметров;

– получены и подтверждены экспериментально математические зависимости прочности на растяжение при изгибе мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона, позволяющие прогнозировать ее изменения в зависимости от состава бетона, а также оптимизировать расход компонентов;

– разработана теоретическая модель для расчета допустимого усилия прессования с учетом прочности стенок микросфер в условиях их всестороннего сжатия при уплотнении поризованного ими бетона прессованием, отражающая взаимосвязь усилия прессования с формированием оптимальной (бездефектной) структуры материала;

– установлена зависимость физико-механических свойств поризованного микросферами фибробетона от его состава и особенностей формирования структуры;

– выявлены закономерности, связывающие механизм деформирования и разрушения фибробетона при воздействии статической и динамической нагрузки с его составом, структурой и свойствами;

– разработаны литьевая технология и технология прессования для изготовления облицовочных плит и фасадных панелей с фибробетонными наружными слоями, проведена их производственная апробация и оценена экономическая эффективность разработок.

Положения, выносимые на защиту:

– усовершенствованная теоретическая модель для оценки и прогнозирова-

ния начального модуля упругости фибробетона в зависимости от объемного содержания и упругих свойств фибры, отличающаяся учетом дополнительного параметра – соотношения геометрических размеров волокна, что обеспечивает повышение достоверности оценки изменений модуля упругости фибробетона для фибры разной модульности;

– математические зависимости, выраженные адекватными уравнениями регрессии, отражающие взаимосвязь и взаимозависимость прочности мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона на растяжение при изгибе от содержания их компонентов и общего водоцементного отношения и позволяющие прогнозировать ее значение по содержанию и свойствам компонентов фибробетона;

– теоретическая модель прочности оболочки микросфер в условиях всестороннего сжатия при уплотнении поризованного ими бетона прессованием, отражающая взаимосвязь между возникающими усилиями прессования и свойствами микросфер: прочностью материала их стенок и отношением толщины стенки к внешнему диаметру микросферы, позволившая определить условия формирования оптимальной структуры поризованного микросферами фибробетона при прессовании и доказать возможность использования значения показателя прочности микросфер при сжатии в цилиндре в качестве верхней предельной границы давления прессования при формовании изделий;

– уточнение механизма деформирования и разрушения фибробетона, согласно которому высокопрочная связь поверхности синтетической фибры с матрицей противодействует упругопластической деформации волокна по длине и придает разрушению хрупкий характер, что позволяет, корректируя свойства контактной зоны «матрица-волокно» с целью уменьшения сил сцепления, обеспечивать условия для растяжения фибры и регулируемого «проскальзывания» по поверхности контакта в зоне образования трещины, что придает разрушению пластичный характер и повышает сопротивление фибробетона динамическим (ударным) воздействиям;

– результаты экспериментальных исследований структуры, прочностных, упруго-деформативных и эксплуатационных свойств мелкозернистого (цементно-песчаного) и поризованного алюмосиликатными микросферами фибробетонов, итогом которых явились технологии литьевого формования и прессования тонкостенных (6,5...10 мм) конструктивных элементов для многослойных наружных стен зданий, обеспечивающие требуемые нормативные физико-механические свойства разработанных видов фибробетона.

Личный вклад соискателя. Основные положения, выносимые на защиту, результаты теоретических и экспериментальных исследований, материалы научных публикаций получены и подготовлены автором самостоятельно. Определение целей и задач исследований, обобщение полученных результатов

и формулирование выводов проводилось совместно с научным руководителем.

Апробация результатов диссертации. Основные материалы диссертации докладывались и обсуждены: на Международных научно-технических конференциях «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» в Белорусско-Российском университете (г. Могилев, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011), на Международных симпозиумах «Проблемы современного бетона и железобетона» (г. Минск, 2007, 2011), на XI и XII Международных научных интернет-конференциях «Новые материалы и технологии в машиностроении» (г. Брянск, 2010).

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 7 статей в рецензируемых журналах, 6 из которых включены в перечень ВАК (объем 3,25 авторских листа), 11 материалов конференций, симпозиумов и тезисов докладов, 1 патент Республики Беларусь на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 6,25 авторских листа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, включающей 5 глав, заключения, библиографического списка из 149 наименований использованных источников и 19 наименований публикаций соискателя, 4 приложений на 26 страницах. Диссертация содержит 146 страниц основного текста, в т. ч. – 103 страницы машинописного текста, 59 рисунков, 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава содержит обзор и анализ литературных данных в области имеющихся конструктивных решений наружных стен зданий и их фасадной отделки, обзор и оценку эксплуатационных воздействий на облицовочные элементы ограждающих конструкций и эффективности применяемых материалов и технологий изготовления изделий.

Сделан вывод, что возросшие требования к тепловому сопротивлению ограждающих стеновых конструкций ($R = 3,2 \dots 3,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, а в перспективе и более) наиболее эффективно обеспечиваются применением многослойных панелей с внутренними слоями из материалов с высокими теплоизоляционными свойствами. При этом для наружных облицовочных слоев перспективно использование тонкостенных дисперсно-армированных плит из цементных бетонов на плотном или легком мелкозернистом заполнителе (наполнителе), прочностные и упруго-деформативные свойства которых позволяют минимизировать их толщину. Весьма существенным является то обстоятельство, что структура цементных бетонов обеспечивает требуемый уровень паро- и газопроницаемости для поддержания благоприятного микроклимата внутри помещений.

В сочетании этих свойств со снижением средней плотности фибробетона за счет введения в его состав легкого заполнителя в виде полых микросфер с водонепроницаемыми стенками (например, стеклянных или алюмосиликатных), можно создать материал для тонкостенных конструктивных слоев наружных стен с высокими физико-механическими характеристиками.

По результатам анализа первоисточников определена необходимость выполнения исследований по разработке составов и технологии изготовления подобных тонкостенных элементов, предназначенных для декоративной отделки и защиты от внешнего воздействия (однослойных или многослойных) стеновых конструкций, так как в нашей стране такие изделия не производят. Необходима и актуальна разработка собственных (не уступающих по качественным характеристикам зарубежным) материалов и технологий их изготовления, на что направлено настоящее диссертационное исследование.

Во второй главе изложена методика и получен алгоритм оптимизации свойств фибробетона по условию его соответствия эксплуатационным требованиям, предъявляемым к тонкостенным фасадным облицовочным элементам, дано обоснование и выбраны компоненты бетона с учетом их влияния на формирование его структуры и свойств, приведены методики выполнения экспериментальных исследований.

Согласно разработанному алгоритму, основанному на анализе совокупности информативных параметров: «физико-механические и эксплуатационные свойства фибробетона – условия эксплуатации фасадных элементов», в качестве наиболее значимого параметра оптимизации свойств бетона в тонкостенных элементах, была определена прочность на растяжение при изгибе. Этот показатель в тонких слоях бетона предопределяет его способность сопротивляться статическим и динамическим (в сочетании с ударной вязкостью) нагрузкам без трещинообразования. При условии его обеспечения (как это будет показано далее), требуемый уровень других нормативных характеристик бетона достигается путем корректировки (при необходимости) состава.

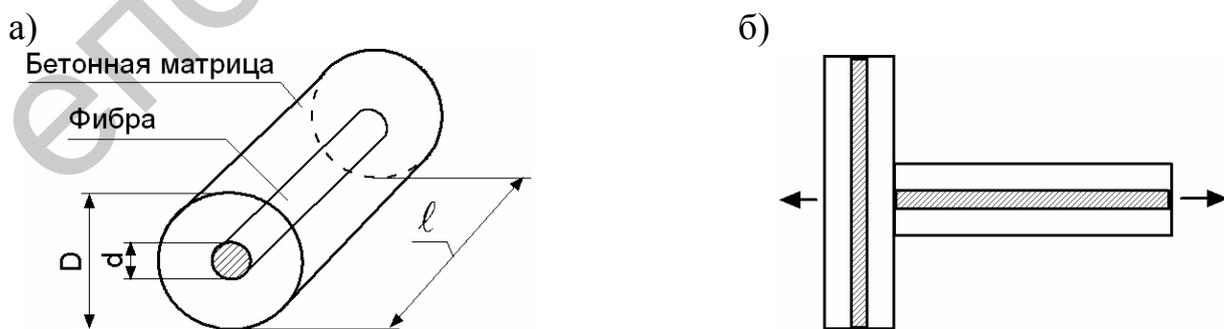
На основании анализа литературных источников и результатов предварительных экспериментов определены материалы-компоненты бетона, которые в наибольшей мере соответствуют достижению цели и решению задач исследования по разработке технологии получения мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона для применения в тонкостенных конструктивных фасадных элементах, толщиной не более 10 мм. В состав фибробетона вошли: портландцемент ПЦ 500-Д0 (активность $R_{ц} \sim 50 \pm 1,5$ МПа), полиакрилонитриловые волокна «Risem-8», химическая добавка для повышения межслойной адгезии «Виннапас» (тройной сополимер этилена, виниллаурата и винилхлорида), эффективные пластификаторы, заполнитель плотной структуры (природный (карьерный) песок с модулем крупности $M_K = 2,2$) – для литевой технологии

производства многослойных панелей, наполнитель поризованной структуры (алюмосиликатные микросферы зол уноса диаметром 30...500 мкм) – для изготовления прессованных однослойных плит.

Определены методики оценки механических свойств фибробетона с учетом разрабатываемых технологий его производства: литьевой и прессованием. По стандартным методикам (ссылки даны в тексте диссертации) определяли прочность на сжатие, физические и эксплуатационные свойства фибробетона. Определение прочности прессованного фибробетона на растяжение при изгибе осуществляли на образцах размерами 10×40×160 мм, испытания по определению ударной вязкости проводили на образцах размерами 10×25×70 мм, по методике, применяемой при испытаниях образцов листового асбестоцемента.

Третья глава отражает результаты исследований по разработке литьевой технологии формирования мелкозернистого (цементно/песчаного = 1/2) фибробетона, оценке и оптимизации его состава и физико-механических свойств с целью использования в тонких наружных слоях многослойных панелей.

При обосновании выбора материала фибры рассмотрены вопросы оценки и прогнозирования начального модуля упругости фибробетона на основе двухфазной модели «мелкозернистый бетон – дисперсно распределенное волокно». Сравнительный анализ известных моделей, основанных на допущении о кубовидном (или шаровидном) строении композитного материала, показал неизбежную погрешность вычислений из-за уменьшения площади контактной поверхности волокна с бетонной матрицей при механической замене вытянутой цилиндрической формы волокна кубическим объемом. В диссертации представлена авторская модель определения модуля упругости, основанная на допущении о цилиндрической форме элементарного объема фибробетона, диаметр поперечного сечения которого «D» определен из условия равномерного распределения фибры с учетом ее геометрического параметра « l/d » (рисунок 1, а).



а) – отдельный цилиндрический элемент; б) – совместное деформирование элементов

Рисунок 1 – Модель фибробетона, приведенная к цилиндрической

Фибробетон представлен в виде совокупности цилиндрических элементов (рисунок 1, б), совместное деформирование которых описывается (при условии

идеального сцепления поверхности фибры и матрицы) усреднением двух состояний системы: внедрением элемента с параллельными связями в поперечное нагружение (E_{fc}^I) и внедрением элемента с последовательными связями в продольное нагружение (E_{fc}^II):

$$E_{fc} = \frac{1}{2} \cdot (E_{fc}^I + E_{fc}^II), \quad (1)$$

$$\text{где } E_{fc}^I = \frac{E_c}{1 - \sqrt{\mu_{об}} \cdot (1 - E_c / (E_c + \mu_{об} \cdot (E_f - E_c)))};$$

$$E_{fc}^II = E_c + \mu_{об} \cdot \left(\frac{E_c}{1 - \sqrt{\mu_{об}} \cdot (1 - E_c / E_f)} - E_c \right);$$

E_{fc} , E_c , E_f – модули упругости фибробетона, бетонной матрицы и фибры соответственно, $\mu_{об}$ – объемное содержание фибры.

Предложенная модель (1) является усовершенствованным вариантом модели бетона Ицковича С.М., отражает характер изменения начального модуля упругости фибробетона E_{fc} для фибры разного объемного содержания и модульности и позволяет выбрать материал для дисперсного армирования на стадии планирования экспериментов.

В процессе экспериментальной разработки технологии формирования мелкозернистого фибробетона были оценены варианты горизонтально-, вертикально-направленного и смешанного (наиболее эффективного) вибрирования, а также литьевой технологии с позиций формирования его структуры и свойств. Установлен эффект «ориентации» волокон фибры в объеме бетона, формируемого с помощью однонаправленных колебаний по оси их приложения, что сопровождается проявлением анизотропии, как в формировании структуры, так и прочностных свойств фибробетона, и приводит к снижению его качества. Доказано преимущество литьевой технологии (безвибрационной на основе «самоуплотнения») формирования тонкостенных конструктивных элементов из фибробетона за счет использования высококачественных пластифицирующих добавок. В рамках проведенных экспериментов определен наиболее эффективный пластификатор («Sika Visco Crete – 20 HE Rus» – водный раствор модифицированных поликарбоксилатов), обеспечивший эффект равномерного распределения фибры, изотропность свойств материала и достижение прочности на растяжение при изгибе, превышающей прочность бетона при наложении разнонаправленных колебаний, что явилось основанием для дальнейшего использования литьевой технологии формирования фибробетона.

Для выявления закономерностей влияния многокомпонентного состава на прочность фибробетона применен метод математического планирования эксперимента. Разработана и подтверждена экспериментально математическая зависимость, выраженная уравнением регрессии, отражающая взаимосвязь и взаи-

мозависимость прочности мелкозернистого фибробетона на растяжение при изгибе (Y , МПа) от содержания его компонентов в заданных условиях планирования эксперимента: X_1 – фибра/цемент (0,4...1,0 %), X_2 – «Виннапас»/цемент (2...5 %), X_3 – пластификатор/цемент (1...2 %), X_4 – общее водоцементное отношение (0,4...0,5). Адекватность уравнения подтверждена критерием Фишера.

$$Y = 11,543 + 0,532 \cdot X_1 + 0,417 \cdot X_2 + 1,136 \cdot X_3 + 1,164 \cdot X_4 + 0,819 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,618 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,474 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,308 \cdot X_3 \cdot X_4. \quad (2)$$

Двухмерные диаграммы (рисунок 2) зависимости прочности фибробетона на растяжение при изгибе от содержания гиперпластификатора «Sika Visco Crete – 20 HE Rus» (при 30 % - ой концентрации раствора) и общего водоцементного отношения при минимальном (а), среднем (б) и максимальном (в) содержании фибры «Riset 8» и «Виннапаса» (по сухому веществу) показывают, что исследуемый интервал варьирования компонентов бетонной смеси при зафиксированной подвижности в пределах ОК = 15...25 см «включает» область оптимума, о чем свидетельствует наличие точек взаимопересечения (а и б), или находится рядом с ней (в).

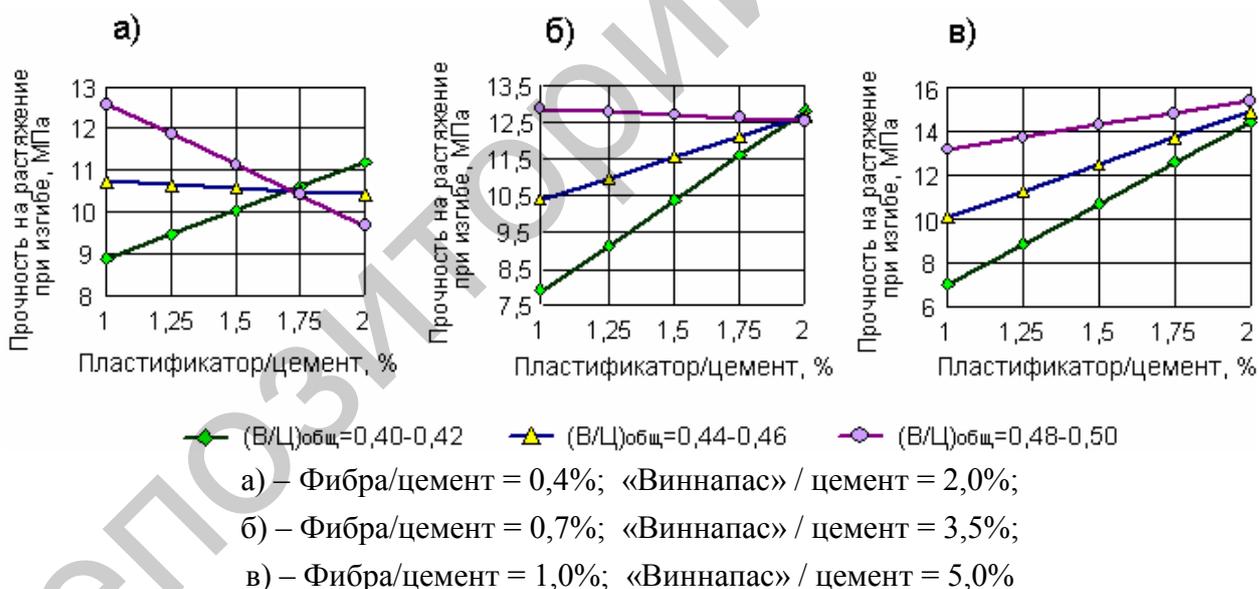


Рисунок 2 – Зависимость прочности фибробетона на растяжение при изгибе в пределах условий планирования эксперимента

Для состава бетона с минимальным содержанием фибры и «Виннапаса» (рисунок 2, а) область оптимума (или экстремума) расположилась близко к основному уровню варьирования двух компонентов: $(В/Ц)_{общ} \sim 0,44$ и отношение «Пластификатор/цемент» $\sim 1,7$ %, что более наглядно демонстрирует объемная трехмерная диаграмма, показанная на рисунке 3, по которой можно определить пути повышения прочности до максимального в 12,5 МПа и варианты наиболее неблагоприятного сочетания содержаний воды и пластификатора, ведущие

к снижению прочности на растяжение при изгибе до 8,9 МПа.

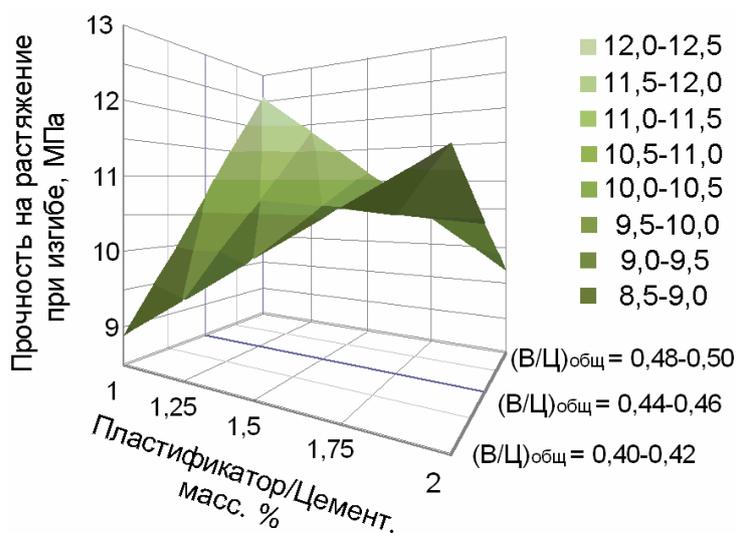


Рисунок 3 – Тенденция изменения прочности фибробетона на растяжение при изгибе в зависимости от его состава (Фибра/цемент = 0,4 %; «Виннапас»/цемент = 2 %)

прочности фибробетона на растяжение при изгибе от количества введенной фибры при соблюдении условия качественного формования и уплотнения фибробетонной смеси ($(В/Ц)_{общ} \sim 0,44...0,50$), что соответствовало в экспериментах начальному водосодержанию 250...280 л на 1 м³ фибробетона при дозировке пластификатора 1,5...2,0 % от массы цемента), а с другой стороны, – снижение прочности, связанное с недоуплотнением бетона из-за ухудшения формуемости смеси при недостаточном количестве воды и пластификатора для увеличивающегося содержания фибры в бетоне ($(В/Ц)_{общ} \sim 0,40...0,42$), что соответствовало начальному водосодержанию 230...240 л на 1 м³ фибробетона при дозировке пластификатора 1,0 % от массы цемента). При увеличении общего водоцементного отношения и расхода пластификатора до оптимальных величин создаются условия для формирования слитной структуры цементного камня и фибробетона в целом, обеспечивающей совместную «работу» бетона и фибры. В этом случае с увеличением содержания фибры (рисунок 4) прочность на растяжение при изгибе растет и достигает максимальных значений в заданных условиях планирования эксперимента.

Оценка влияния адгезива «Виннапас» (рисунок 4) показывает его эффективность, возрастающую с увеличением (в пределах оптимального) начального водосодержания. С одной стороны, улучшаются условия формования бетона, а с другой – увеличивающиеся «толщины» адсорбционных «пленок» воды на поверхности фибры ухудшают ее сцепление с цементным камнем. Введение адсорбционноактивного вещества «Виннапас», на наш взгляд, способствует усилению связей между поверхностью фибры и затвердевшим цементным камнем,

Очевиден эффект взаимозависимости дозировки пластификатора и общего водоцементного отношения на прочностные показатели фибробетона: минимальный расход пластификатора (1 %) требует повышенного водосодержания, соответственно минимальное водосодержание требует дополнительного введения пластификатора (до 2 % от массы цемента).

Результаты исследований подтвердили, с одной стороны, прямую зависимость роста

чем обеспечивается их совместная «работа» под нагрузкой и рост прочности фибробетона на растяжение при изгибе.

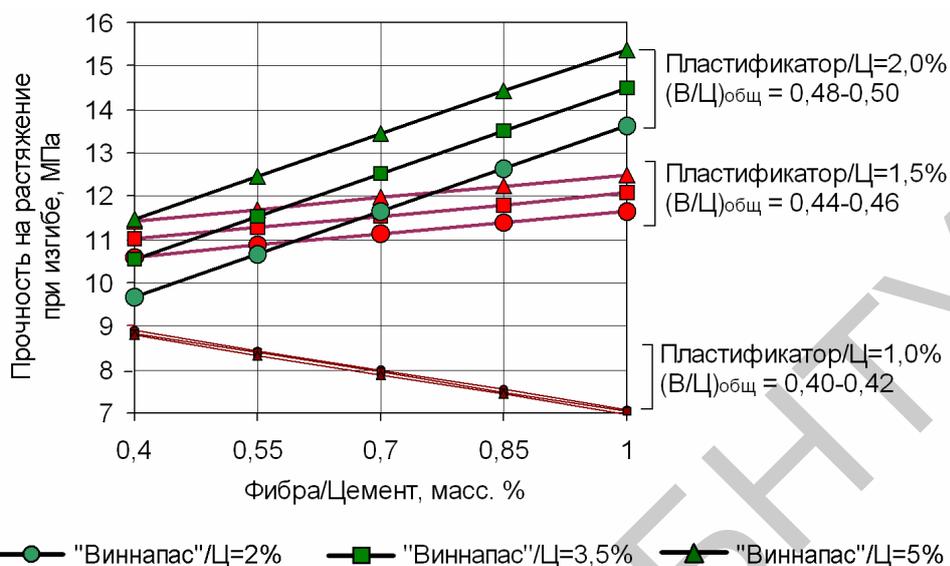


Рисунок 4 – Зависимость прочности на растяжение при изгибе от содержания фибры в разных условиях формуемости бетонной смеси (ОК = 15...25 см)

Полученное уравнение регрессии (2) позволило установить рациональные составы фибробетона, обеспечивающие качественное формование слоев толщиной до 10 мм по литевой технологии. В частности, для практического внедрения рекомендован состав с расходом компонентов на 1 м³ бетона: цемент – 560 кг, песок – 1120 кг, «Виннапас» – 28 кг, «Sika Visco Crete – 20 HE Rus» – 8,4 кг (2,8 кг в пересчете на сухое вещество), фибра – 5,6 кг, вода – 268 кг для литевой технологии формования бетона (ОК = 21...23 см). При перечисленных условиях и $(В/Ц)_{общ} \sim 0,48 \pm 0,01$ обеспечивается прочность мелкозернистого фибробетона на растяжение при изгибе в 14...16 МПа, что значительно превышает нормируемый уровень (не менее 7,5 МПа) и позволяет соответствующим образом уменьшить толщину слоя бетона. Уровень других физико-механических свойств исследуемого мелкозернистого фибробетона предложенного состава соответствует требованиям СТБ 1374 – 2003, что позволит использовать его для облицовки наружных поверхностей зданий и сооружений.

Четвертая глава диссертации отражает процесс и результаты исследований по разработке технологии прессования, изучению структуры и свойств легкого фибробетона на заполнителе из алюмосиликатных микросфер зол уноса, предназначенного для изготовления тонкостенных конструктивных (менее 10 мм толщиной) элементов для наружных (защитно-декоративных) слоев ограждающих конструкций зданий.

Разработана теоретическая модель прочности оболочки сферы в условиях всестороннего сжатия, возникающего при прессовании, адекватно отражающая взаимосвязь между действующим усилием прессования и свойствами микро-

сфер: прочностью материала их стенок (σ_u) и отношением толщины стенки δ к внешнему диаметру микросферы D :

$$p_u = 2 \cdot \sigma_u \cdot \ln\left(1 - 2 \cdot \frac{\delta}{D}\right)^{-1}. \quad (3)$$

Доказана возможность использования характеристики «прочность микросфер при сжатии в цилиндре» в качестве верхней границы давления при прессовании бетона, поризованного микросферами: для толстостенных микросфер – с фактически имеющимся запасом прочности; для тонкостенных микросфер – с введением коэффициента запаса прочности. Установлено, что при использовании алюмосиликатных микросфер в качестве заполнителя, верхняя граница рабочего давления прессования бетона (с запасом прочности сфер) находится в пределах 15...28 МПа; минимальное давление, которое обеспечивает формирование качественной структуры уплотняемого бетона, определено экспериментально и составляет 2,0...2,4 МПа.

Разработана и подтверждена экспериментально математическая зависимость в виде уравнения регрессии, отражающая взаимосвязь и взаимозависимость прочности поризованного микросферами фибробетона на растяжение при изгибе (Y , МПа) от содержания его компонентов (по сухому веществу) в заданных условиях планирования трехфакторного эксперимента: X_1 – фибра/цемент (1...2 %), X_2 – «Виннапас»/цемент (6...10 %), X_3 – заполнитель (микросферы)/цемент (33...99 %):

$$Y = 4,273 + 0,348 \cdot X_1 + 0,35 \cdot X_2 - 2,444 \cdot X_3 + 1,36 \cdot X_3^2 - 0,2 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (4)$$

Для остальных факторов соблюдали условие их постоянства, в частности, образцы изготавливали с удельным давлением прессования 3 МПа; в состав смеси добавляли суперпластификатор «Peramin FP» (SMФ-10) в количестве

0,5 % от массы цемента (по сухому веществу); жесткость бетонной смеси поддерживали постоянной (10...15 с), что, учитывая варьирование содержания микросфер в довольно больших пределах, вызывало соответствующие изменения в расходе воды.

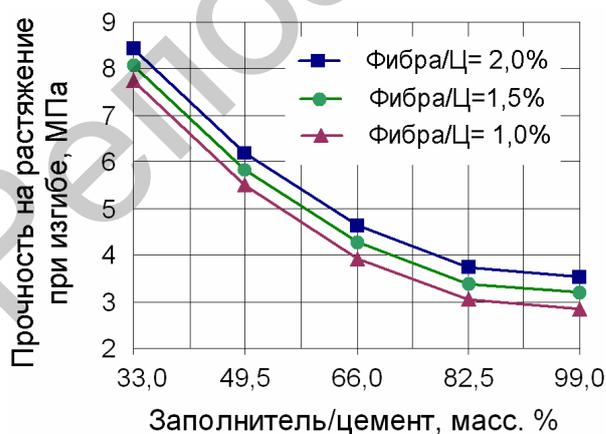


Рисунок 4 – Характер изменения прочности фибробетона в зависимости от содержания микросфер и фибры («Виннапас»/Ц=8 %)

Анализ зависимости (4), адекватность которой подтверждена критерием Фишера, показал, что требуемый уровень прочности (7,5 МПа) может быть обеспечен при ограничении соотношения $Z/C \leq 50$ % (рисунок 4) при

соответствующем расходе фибры и адгезива «Виннапас».

На рисунке 5 показаны результаты обработки данных экспериментальных исследований зависимости прочности на растяжение при изгибе (а) и ударной вязкости (б) от общего водоцементного отношения пресованного фибробетона, содержащего в составе по отношению к массе цемента (100 %) сухих компонентов: 33 % микросфер, 1 % фибры, 6 % добавки «Виннапас», 0,5 % суперпластификатора «Peramin FP». Консистенция (жесткость) бетонных смесей зафиксирована в пределах от 10 до 30 с. Полученные квадратичные уравнения регрессии адекватны при 95% -й доверительной вероятности.

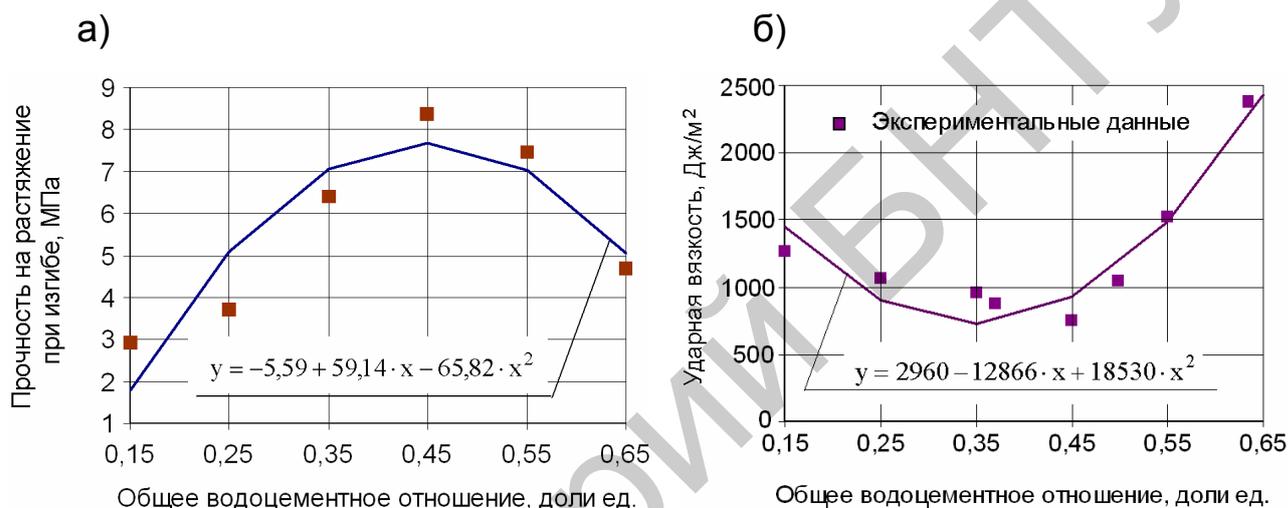


Рисунок 5 – Взаимосвязь между прочностными характеристиками фибробетона и общим водоцементным отношением: а) - прочность на растяжение при изгибе, б) - ударная вязкость

Очевиден эффект близкого совпадения экстремальных значений прочностных параметров, который характеризуется максимальной (в этих экспериментах) прочностью на растяжение при изгибе (7,5...8,4 МПа) при $(В/Ц)_{общ} \sim 0,4...0,5$ и минимальной ударной вязкостью (750...1000 Дж/м²) при $(В/Ц)_{общ} \sim 0,35...0,45$. Установлен разный характер разрушения образцов: стремительный, по хрупкому типу, и «пластичный» с вытягиванием фибры из цементной матрицы, причем «хрупким» разрушением характеризуется фибробетон с высокой статической и минимальной ударной прочностью (вязкостью). Исследования «механизма» деформирования и разрушения фибробетона позволили объяснить эти особенности «работы» фибробетона при воздействии статической и динамической нагрузки.

Установлено, что жесткая связь (сцепление) фибры с матрицей, способствуя росту прочности фибробетона, противодействует упругопластическим деформациям волокна по длине и придает разрушению бетона хрупкий характер. Регулируя свойства контактной зоны «матрица-волокно» увеличением расхода добавки-адгезива или подбором водоцементного отношения (с целью уменьшения сил сцепления в контактной зоне), можно обеспечить условия для

растяжения фибры и частичного ее «проскальзывания» по поверхности контакта в зоне образования трещины, что придаст разрушению пластичный характер и повысит ударную вязкость. Для указанного выше состава фибробетона оптимальным является $(В/Ц)_{\text{общ}} \sim 0,50 \dots 0,55$, при котором материал обладает высокими прочностными свойствами в совокупности с пластичным характером разрушения.

Экспериментально определен уровень свойств фибробетона рекомендуемого выше состава (расход компонентов на 1 м^3 бетона составил: цемент – 720 кг, микросферы – 240 кг, «Виннапас» – 43 кг, фибра – 7,2 кг, «Peramin FR» – 3,6 кг; вода – 360...380 кг), соответствующий нормативным и общестроительным требованиям: водопоглощение по массе $\leq 6 \dots 7 \%$, морозостойкость ≥ 150 циклов; деформативность при водонасыщении-высушивании $0,1 \dots 0,08 \%$ без обработки поверхности гидрофобизатором, коэффициент паропроницаемости $0,08 \dots 0,09 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$, коэффициент теплопроводности $0,40 \dots 0,55 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, прочность на растяжение при изгибе $7,5 \dots 8,4 \text{ МПа}$; прочность на сжатие $27 \dots 28 \text{ МПа}$; модуль упругости $10,0 \dots 12,5 \text{ ГПа}$, ударная вязкость $1000 \dots 1900 \text{ Дж}/\text{м}^2$, средняя плотность $1370 \dots 1420 \text{ кг}/\text{м}^3$. Анализ «ИК спектров» ряда образцов поризованного микросферами фибробетона обнаружил присутствие аморфного кремнезема и в образцах, испытанных на морозостойкость (после 100 циклов), и в образцах, твердевших в течение года в нормально-влажностных условиях: $t \sim (20 \pm 3) \text{ °C}$, $\varphi \geq 90 \%$, что свидетельствует о продолжении процесса гидратации цемента, ведущее к уплотнению и упрочнению структуры, и о достаточной долговечности поризованного микросферами фибробетона.

Результаты вышеприведенных исследований обеспечивают возможность целенаправленного регулирования упруго-деформативных свойств поризованного микросферами зол уноса фибробетона за счет соответствующей корректировки его состава. В зависимости от требуемого комплекса физико-механических свойств разрабатываемый легкий фибробетон может использоваться как конструкционно-теплоизоляционный с повышенными прочностными свойствами или как конструкционный бетон с пониженной теплопроводностью.

В пятой главе представлены конструкции и технологии изготовления однослойных прессованных плит из поризованного микросферами фибробетона и многослойных панелей с наружным слоем из мелкозернистого фибробетона. На основе анализа напряженно-деформированного состояния изделий обоснован выбор минимальных толщин слоев бетона. Приводятся результаты практической реализации результатов исследований и оценка экономической эффективности.

Разработаны и предложены варианты конструктивных решений однослой-

ных плит, имитирующих кирпичную кладку, по которым изготовлена опытная партия плит из поризованного микросферами фибробетона размерами 520×430 мм, толщиной 10 мм (без учета ребер жесткости) с утончением на 1...2 мм в местах, имитирующих швы между кирпичами. На основе анализа напряженно-деформированного состояния однослойной плиты, испытывающей неблагоприятное сочетание ветровой нагрузки и действие сосредоточенной силы, приложенной по центру, доказана возможность уменьшения толщины изделия до 6,5 мм.

Выполнены исследования напряженно-деформированного состояния трехслойной панели при механических воздействиях (в сочетании ветровой, равномерно распределенной, и сосредоточенной нагрузок) и при температурно-влажностном воздействии среды, результаты которых подтвердили достаточную прочность и жесткость наружного слоя из исследуемого мелкозернистого фибробетона толщиной в 6...10 мм.

Результаты исследований, в виде разработанных составов и технологий мелкозернистых фибробетонов с улучшенными физико-механическими свойствами, внедрены в технологический процесс производства облицовочных двухслойных плит и стеновых трехслойных панелей (сэндвич-панелей), производимых на предприятии ООО «СМИТ-Хаус» (г.Ярцево, Смоленская обл., РФ). Экономический эффект от внедрения научных разработок составил 1,80 млн. руб. (рос.) в ценах 2008 г. при годовом объеме выпуска 50000 м² стеновых и облицовочных панелей. С участием автора разработаны ТУ 5284-005-70843705-2008 «Панели стеновые и фасадные бескаркасные фибробетонные с утеплителем из пенополистирола. Технические условия».

Предложена конструкция и технология изготовления слоистой панели, защищенная патентом Республики Беларусь. Ожидаемый годовой экономический эффект за счет повышения эффективности технологического процесса, по данным ООО «СМИТ-Хаус», может составить 0,2 млн. рос. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1 Предложена усовершенствованная модель для оценки и прогнозирования начального модуля упругости фибробетона при известных свойствах матрицы (бетона) и материала фибры, которая учитывает геометрические параметры волокон фибры и ее объемное содержание, что позволяет оценить изменения модуля упругости фибробетона с учетом модульности фибры и выбрать требуемый материал для дисперсного армирования бетона на стадии планирования экспериментов [1, 7, 8, 9].

2 Предложена теоретическая модель оценки прочности сферической обо-

лочки в условиях всестороннего сжатия при формировании изделий прессованием, отражающая взаимосвязь между возникающими усилиями прессования и свойствами микросфер: прочностью материала их стенок и отношением толщины стенки δ к внешнему диаметру микросферы D , что позволяет определить максимальное давление прессования, при котором сохраняется целостность микросфер. При этом доказана возможность использования значения показателя прочности микросфер при сжатии в цилиндре в качестве верхнего предельного давления прессования. Для бетона, поризованного алюмосиликатными микросферами, значения рабочего давления прессования находятся соответственно между верхней границей, определяемой в пределах от 15 до 28 МПа (в зависимости от прочности сфер при сдавливании в цилиндре) и минимальным значением от 2,0 до 2,4 МПа, обеспечивающим плотную структуру цементного теста (камня) формуемого бетона. Для практического применения рекомендовано рациональное значение давления прессования $3 \pm 0,2$ МПа [6, 16, 17, 18].

3 Разработаны и подтверждены экспериментально математические зависимости (в виде уравнений регрессии) для расчета прочности мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетонов, адекватно отражающие взаимосвязь и взаимозависимость прочности на растяжение при изгибе этих разновидностей бетонов от содержания компонентов, что позволило установить их рациональные составы, обеспечивающие качественное формирование слоев толщиной ≤ 10 мм по литевой технологии (мелкозернистый фибробетон) и прессованием (поризованный микросферами зол уноса фибробетон), и физико-механические свойства, превышающие уровень нормативных требований к защитным слоям бетона ограждающих конструкций [7, 13, 14, 15].

4 Получили развитие представления о механизме деформирования и разрушения фибробетона, дисперсно-армированного синтетической волоконной фиброй, характеризующейся значительными пластическими деформациями при растяжении. Для этого случая выявлены особенности развития магистральной трещины, возникающей в фибробетоне под действием изгибающей образец нагрузки, в зависимости от свойств цементной матрицы, фибры и состояния контактных зон между ними (качества сцепления). Установлено, что жесткая связь (сцепление) фибры с матрицей, способствуя росту прочности фибробетона, противодействует упругопластическим деформациям волокна по длине и придает разрушению бетона хрупкий характер; такой фибробетон обладает максимальной прочностью на растяжение при изгибе и низкой ударной вязкостью. Регулируя свойства контактной зоны «матрица-волокно», например, изменением расхода добавки-адгезива или подбором водоцементного отношения (с целью уменьшения сил сцепления в контактной зоне), можно обеспечить условия для растяжения фибры из-за эффекта «проскальзывания» по поверхности контакта в зоне возникновения трещины, что придает разрушению пла-

стичный характер и способствует росту сопротивления фибробетона динамическим (ударным) воздействиям [2 – 5, 12, 18].

5 Результатом теоретических и экспериментальных исследований явились литьевая технология мелкозернистого (цементно-песчаного) фибробетона и технология прессования поризованного микросферами (т. е. с применением в качестве заполнителя микросфер зол-уноса) фибробетона, обеспечившие возможность изготовления тонкостенных наружных защитных (фасадных) слоев толщиной 6,5...10 мм для многослойных конструкций наружных стен за счет повышения физико-механических свойств фибробетона, в частности, прочности на растяжение при изгибе мелкозернистого фибробетона до 14...16 МПа при нормативной 7,5 МПа [7, 15, 18, 19].

6 Выполнена опытно-промышленная и производственная апробация результатов диссертационного исследования, подтвердившая высокий уровень их технологической разработки (в виде действующего производства многослойных наружных стеновых панелей) и экономическую эффективность.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Теоретические и экспериментально-практические результаты исследований диссертации рекомендуется использовать:

- разработанные составы и технологии получения мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона – при производстве стеновых трехслойных панелей и облицовочных плит наружных стеновых конструкций с целью снижения их массы и повышения эксплуатационной надежности и долговечности;

- разработанную конструкцию и технологию изготовления слоистой панели, на которую получен патент Республики Беларусь [19] и справка о возможности практического использования с ожидаемым годовым экономическим эффектом в 0,2 млн. рос. рублей по данным ООО «СМИТ-Хаус» – для организации соответствующего производства строительной отрасли Беларуси;

- теоретические зависимости по определению предельного усилия прессования поризованного микросферами бетона – в технологии изготовления искусственных микросфер для обоснования и мотивированного выбора их геометрических параметров с учетом прочностных свойств материала стенок;

- разработанные с участием автора ТУ 5284-005-70843705-2008 «Панели стеновые и фасадные бескаркасные фибробетонные с утеплителем из пенополистирола. Технические условия» – при разработке соответствующих ТНПА для строительной отрасли Беларуси.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Леонович, И.А. Влияние упругих характеристик композитного материала на свойства фибробетона / И.А. Леонович, А.А. Леонович // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – Могилев, 2007. – № 3. – С. 148–155.
2. Леонович, И.А. Прочностные и упругие свойства фибробетона с заполнителем из микросфер при статической кратковременной нагрузке / И.А. Леонович, И.М. Кузменко, Е.С. Павлюк // Вестн. Полоц. Гос. ун-та, Сер.Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2007. – № 12 – С. 63–67.
3. Леонович, И.А. Прочностные свойства фибробетонов с заполнителем из микросфер при ударном нагружении / И.А. Леонович // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – Могилев, 2008. – № 2. – С. 129–136.
4. Леонович, И.А. Механизм разрушения фибробетонов на заполнителе из микросфер зол-уноса / И.А. Леонович, А.А. Леонович // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – Могилев, 2009. – № 4. – С. 149–158.
5. Леонович, И.А. Влияние дисперсного армирования на прочность бетона с заполнителем из микросфер зол-уноса / И.А. Леонович // Строительная наука и техника, 2010. – № 1-2. – С. 12–22.
6. Леонович, И.А. Формирование структуры прессованного бетона, поризованного микросферами / И.А. Леонович, Э.И. Батяновский // Строительная наука и техника, 2011. – № 2. – С. 47–52.
7. Леонович, И.А. Теоретико-практическое моделирование упругих и прочностных свойств мелкозернистого фибробетона для тонкостенных фасадных элементов / И.А. Леонович, Э.И. Батяновский // Строительная наука и техника, 2012. – № 1. – С. 14–20.

Статьи и тезисы в материалах конференций

8. Леонович, И.А. Фибробетон и его упругие свойства / И.А. Леонович, Т.С. Самольго, А.А. Леонович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч. техн. конф., Могилев, 19–20 апреля 2007 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Бел.-Рос. ун-т ; редкол. : И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2007. – Ч. 2. – С. 113–114.
9. Леонович, И.А. Применение фибробетона в строительстве и его упругие свойства / И.А. Леонович, Т.С. Самольго // Проблемы современного бетона и железобетона : Материалы междунар. симпозиума (Минск, 16–19 октября 2007 г.) : сб. науч. Трудов : в 2 ч. Ч. 1. Бетонные и железобетонные конструкции / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Научно-

исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству «Институт БелНИИС» ; редкол. : М.Ф. Марковский (председатель) [и др.] – Минск : Стринко, 2007. – Ч. 1. – С. 239–249.

10. Леонович, И.А. О перспективах применения алюмосиликатных микросфер зол-уноса в качестве заполнителя бетона / И.А. Леонович, Т.С. Самольго, А.А. Леонович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч. техн. конф., Могилев, 17–18 апреля 2008 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.] – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – Ч. 3. – С. 125–126.

11. Леонович, И.А. Особенности капиллярного водопоглощения бетона с заполнителем из алюмосиликатных микросфер / И.А. Леонович, В.Т. Парахневич, А.А. Леонович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч. техн. конф., Могилев, 17–18 апреля 2008 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.] – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – Ч. 3. – С. 124.

12. Леонович, И.А. Влияние фибры на прочностные и упругие свойства фибробетонов с заполнителем из микросфер зол-уноса / И.А. Леонович, А.А. Леонович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч. техн. конф., Могилев, 16–17 апреля 2009 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.] – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – Ч. 1. – С. 224–225.

13. Батяновский, Э.И. Алгоритм оптимизации свойств фибробетона для применения в фасадных тонкостенных элементах / Э.И. Батяновский, И.А. Леонович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч. техн. конф., Могилев, 22–23 апреля 2010 г.: в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.] – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – Ч. 2. – С. 94–95.

14. Батяновский, Э.И. Анализ модели прочностных свойств мелкозернистого фибробетона / Э.И. Батяновский, И.А. Леонович, А.А. Леонович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч. техн. конф., Могилев, 22–23 апреля 2010 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное

агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – Ч. 2. – С. 96–97.

15. Батяновский, Э.И. Фибробетон на заполнителе из микросфер золуноса для облицовочных слоев / Э.И. Батяновский, И.А. Леонович // Новые материалы и технологии в машиностроении : материалы XI Междунар. науч. интернет-конф, Брянск, 10 апр.–10 мая 2010 г. / Брянская гос. инж.-технологическая академия ; под общ. ред. Е.А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2010. – Вып. 11. – С. 146–150.

16. Батяновский, Э.И. Режимы прессования материалов, поризованных микросферами / Э.И. Батяновский, И.А. Леонович, А.А. Леонович // Новые материалы и технологии в машиностроении : материалы XII Междунар. науч. интернет-конф, Брянск, 11 окт.–10 ноября 2010 г. / Брянская гос. инж.-технологическая академия ; под общ. ред. Е.А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2010. – Вып. 12. – С. 151–155.

17. Леонович, И.А. Определение предельных усилий прессования бетонов на заполнителе из полых микросфер / И.А. Леонович, В.Н. Ключков, А.А. Леонович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч. техн. конф., Могилев, 22–23 апреля 2011 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – Ч. 2. – С. 115–116.

18. Леонович, И.А. Теоретико-практические аспекты структурообразования прессованных фибробетонов, поризованного микросферами / И.А. Леонович, Э.И. Батяновский // Проблемы современного бетона и железобетона : материалы III междунар. симпозиума (Минск, 9–11 ноября 2011 г.) : в 2 т. Т. 2. Технология бетона / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству «Институт БелНИИС» ; редкол. : М.Ф. Марковский (председатель) [и др.]. – Минск : Минсктиппроект, 2011. – С. 286–300.

Патенты

19. Слоистая панель : пат. 6442 U Респ. Беларусь, МПК8 E 04C 2/26 / С.С. Павлюк, И.А. Леонович, А.А. Леонович ; заявитель ГУ ВПО «Белорусско-Российский ун-т. – № и 20090901 ; заявл. 02.11.2009 ; опубл. 30.08.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 4. – С. 205.

РЭЗІЮМЭ

Леановіч Ірына Анатольеўна

Тэхналогія, структура і ўласцівасці дробназярністага і парызаванага мікрасферамі фібрабетону

Ключавыя словы: дробназярністы фібрабетон, парызаваны фібрабетон, алюмасілікатныя мікрасферы, арганічная фібра, ціск прасавання, модуль пругкасці, трываласць, даўгавечнасць, абліцовачныя панэлі.

Мэта працы: распрацаваць тэхналогію атрымання дробназярністага і парызаванага мікрасферамі фібрабетону з патрэбнымі фізіка-механічнымі ўласцівасцямі і тэхналогіі вырабу танкасценных канструкцыйных фасадных элементаў з яго прымяненнем.

Аб’ект даследаванняў: цэментныя фібрабетоны з дробназярністымі запаўняльнікамі шчыльнай і парызаванай структуры.

Прадмет даследаванняў: структура і ўласцівасці дробназярністага і парызаванага мікрасферамі фібрабетону.

У выніку тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў распрацаваны тэхналогія ліцця дробназярністага (цэментна-пясчанага) фібрабетону і тэхналогія прасавання парызаванага мікрасферамі фібрабетону, якія забяспечылі магчымасць устройства танкасценных вонкавых ахоўных (фасадных) слаёў таўшчынёй у 6,5...10 мм пры вырабе шматслойных канструкцый вонкавых сцен, у тым ліку па атрыманаму патэнту.

Прапанавана ўдасканалена мадэль для ацэнкі і прагназавання пачатковага модуля пругкасці фібрабетону; тэарэтычная мадэль ацэнкі трываласці сферычнай абалонкі ва ўмовах усебаковага сціскання пры фармаванні вырабаў прасаваннем; распрацаваны і пацверджаны эксперыментальна матэматычныя залежнасці (у выглядзе ўраўненняў рэгрэсіі) для разліку трываласці дробназярністага і парызаванага мікрасферамі фібрабетону, якія адэкватна адлюстроўваюць узаемасувязь і ўзаемазалежнасць трываласці на расцяжэнне пры выгібе гэтых разнавіднасцей бетонаў ад зместу кампанентаў. Атрымалі развіццё ўяўленні аб механізме дэфармавання і разбурэння фібрабетону і вызначаны ўмовы, пры якіх можна надаць разбурэнню пластычны характар, што забяспечыць устойлівасць фібрабетону да дынамічных (ударных) уздзеянняў.

Выканана доследна-прамысловая і вытворчая апрацацыя вынікаў дысертацыйнага даследавання, якая пацвердзіла высокі ўзровень іх тэхналагічнай распрацоўкі (у выглядзе дзейнічаючай вытворчасці шматслойных вонкавых сценавых панэляў) і эканамічную эфектыўнасць.

РЕЗЮМЕ

Леонович Ирина Анатольевна

Технология, структура и свойства мелкозернистого и поризованного микросферами зол уноса фибробетона

Ключевые слова: мелкозернистый фибробетон, поризованный фибробетон, алюмосиликатные микросферы, органическая фибра, давление прессования, модуль упругости, прочность, долговечность, облицовочные панели.

Цель работы – разработать технологию получения мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона с требуемыми физико-механическими свойствами и технологии изготовления тонкостенных конструктивных фасадных элементов с его применением.

Объект исследований – цементные фибробетоны с мелкозернистыми заполнителями плотной и поризованной структуры.

Предмет исследований - структура и свойства мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона.

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработаны литьевая технология мелкозернистого (цементно-песчаного) фибробетона и технология прессования поризованного микросферами зол уноса фибробетона, обеспечившие возможность устройства тонкостенных наружных защитных (фасадных) слоев толщиной 6,5...10 мм при изготовлении многослойных конструкций наружных стен, в том числе по полученному патенту.

Предложена усовершенствованная модель для оценки и прогнозирования начального модуля упругости фибробетона; теоретическая модель оценки прочности сферической оболочки в условиях всестороннего сжатия при формовании изделий прессованием; разработаны и подтверждены экспериментально математические зависимости (в виде уравнений регрессии) для расчета прочности мелкозернистого и поризованного микросферами фибробетона, адекватно отражающие взаимосвязь и взаимозависимость прочности на растяжение при изгибе этих разновидностей бетонов от содержания компонентов. Получили развитие представления о механизме деформирования и разрушения фибробетона и определены условия, при которых можно придать разрушению пластичный характер, что обеспечивает устойчивость фибробетона к динамическим (ударным) воздействиям.

Выполнена опытно-промышленная и производственная апробация результатов диссертационного исследования, подтвердившая высокий уровень их технологической разработки (в виде действующего производства многослойных наружных стеновых панелей) и экономическую эффективность.

SUMMARY

Leonovich Irina Anatolyevna

Technology, structure and properties of fine-grained and pored with the fly-ashes microspheres fibrous concretes

Key words: fine-grained fibrous concrete, pored fibrous concrete, aluminosilicate microspheres, organic fibre, molding pressure, coefficient of elasticity, strength, durability, cladding panels.

The goal of the research is to develop the technology of fabricating fine-grained and pored with microspheres fibrous concretes with desired physical and mechanical properties, and to apply this technology in producing thin-walled structural elements of exterior building envelope.

The object of the research is the cement fine-grained fibrous concrete with dense (compact) and porous structure.

The subject of the research is the structure and properties of fine-grained and pored with microspheres fibrous concretes.

Theoretical and experimental analyses helped to work out a technology of fine-grained (sand–cement) fibrous concrete molding, and pored with the fly-ashes microspheres fibrous concrete molding technology. The results of the research enabled setting thin-wall exterior protective (front) layers with the thickness of 6,5...10 mm when manufacturing multilayer structures of exterior walls, including those under the patent granted.

An improved model for estimating and predicting the initial coefficient of fibrous concrete elasticity was proposed. The theoretical model for assessing the strength of spherical shells under uniform compression while forming the product by molding was worked out. Mathematical relationships (in the form of regression equations) for calculating the strength of fine-grained and pored with microspheres fibrous concretes were developed and experimentally confirmed; these relationships adequately express the correlation and interrelation between the defined concretes' bend tension strength and components' contents. A concept of the fibrous concrete deformation and destruction mechanism was developed just as were defined the conditions under which it is possible to make the destruction more flexible, which ensures the stability of fibrous concrete to dynamic (percussion) influence.

Pilot production and manufacturing testing of the dissertation research results were completed, confirming the high level of their technological development (in the form of the existing multi-layer exterior wall panels manufacturing) and economic efficiency.

Научное издание

ЛЕОНОВИЧ Ирина Анатольевна

**ТЕХНОЛОГИЯ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО И ПОРИЗОВАННОГО
МИКРОСФЕРАМИ ЗОЛ УНОСА ФИБРОБЕТОНА**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.05
«Строительные материалы и изделия»

Подписано в печать 08.10.2012. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Ризография.
Усл.-печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 60. Заказ 1313.

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