

0- 803863

На правах рукописи

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and a long diagonal stroke.

ИВЛЕВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФИБРОБЕТОННЫХ
ПЕРЕМЫЧЕК СТЕН ЗДАНИЙ**

Специальность 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» на кафедре «Строительные конструкции»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Недосеко Игорь Вадимович

Официальные
оппоненты:

Попов Валерий Петрович
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Самарский государственный
архитектурно-строительный университет»,
заведующий кафедрой «Технология и
организация строительного производства»



Бедов Анатолий Иванович
кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО НИУ «Московский государственный
строительный университет»,
профессор кафедры «Железобетонные и
каменные конструкции»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»

Защита состоится «24» декабря 2013 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 на базе ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, ауд. 3-203 (зал заседаний Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Автореферат разослан «23» ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

A handwritten signature in black ink, likely belonging to L.A. Abdurakhmanova.

Л.А. Абдрахманова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Несмотря на ускоренное внедрение в строительную индустрию прогрессивных технологий получения новых типов конструкционных материалов на минеральной и органической основе, таких как углепластики, поликарбонат, особо высокопрочные сплавы и др., железобетон на долгое время останется основным конструкционным материалом – «хлебом строительства». К тому же технология бетона также постоянно совершенствуется, внедряются современные химические добавки, такие как пластификаторы на поликарбоксилатной основе, прогрессивные технологии транспортировки и укладки бетонных смесей, больших успехов достигло монолитное строительство, позволяющее возводить здания высотой до ста и более этажей, созданы конструкционные бетоны «нового поколения» имеющие прочность более 200 МПа на сжатие и 50 МПа на растяжение. Однако, большей частью в связи с экономическими трудностями, с середины 90-х годов в нашей стране практически полностью исчезло производство сборного железобетонного каркаса для промышленного строительства, а из многочисленных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, производимых в предыдущие десятилетия, сейчас, к сожалению, массовыми сериями выпускаются только пустотные плиты перекрытий, фундаментные блоки и перемычки, и, очевидно, только ускоренное внедрение прогрессивных материалов и технологий в производство сборных железобетонных конструкций может существенно повысить их эффективность и конкурентоспособность на строительном рынке.

Наиболее массовыми из производимых сборных конструкций являются железобетонные перемычки различных типов для жилых и гражданских кирпичных зданий. Однако, технология их производства значительно устарела и не соответствует требованиям настоящего времени, в частности, перемычки (как брусковые, так и плитные) в отличие от пустотных плит перекрытий производятся не по прогрессивной безопалубочной технологии, а, практически повсеместно, традиционным виброформованием, требующем не только металлоемких опалубочных форм, но и значительных трудозатрат по изготовлению и установке арматурных каркасов. Поэтому данная конструкция, хотя и имеет самые малые габаритные размеры, является «большой головной болью» для технологов и руководителей предприятий стройиндустрии, которым, в сложившейся ситуации, их производство экономически не выгодно, даже несмотря на то, что жилищно-гражданское строительство готово ее потреблять в массовых объемах. Радикальным решением данной проблемы, на наш взгляд, может стать использование бетонов специального назначения, в частности, фибробетонов на основе стальной и неметаллической фибры, которое позволит существенно снизить трудозатраты и себестоимость, а также повысить качество выпускаемой продукции.

Целью работы является разработка новых конструктивных решений малоформатных изгибаемых элементов массового производства (перемычки различных типов для зданий и сооружений), основанных на применении дисперсно-армированных бетонов с использованием стальной и неметаллической высокомодульной фибры.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести анализ конструктивных решений малоформатных изгибаемых элементов (на примере перемычек жилых и гражданских зданий) на основе применения фибробетонов различных уровней прочности и выявить показатели, влияющие на снижение материалоемкости и трудоемкости их изготовления.
2. Разработать методологический подход к определению наиболее оптимальных и рациональных вариантов применения дисперсно-армированных бетонов в малоформатных изгибаемых элементах с учетом их напряженно-деформированного состояния и особенностей технологии изготовления.
3. Исследовать механические и конструктивно-технологические параметры фибробетона в зависимости от используемой стальной и высокомодульной неметаллической фибры и размеров поперечного сечения изгибаемых элементов.

4. По результатам проведенных расчетов с использованием отечественных и зарубежных нормативов и численных исследований установить характер изменения и закономерности влияния физико-механических и геометрических характеристик фибры, а также повышения класса прочности бетона-матрицы и стержневой арматуры на материалоемкость различных марок перемычек.

5. Разработать аналитические зависимости и расчетные модели, связывающие несущую способность, жесткость и трещиностойкость нормальных и наклонных сечений малоформатных фибробетонных изгибаемых элементов с последовательным изменением их напряженно-деформированного состояния, стадиями деформирования бетона, дискретной и дисперсной арматуры в составе конструкций фибробетонных перемычек.

6. Создать алгоритм расчета перемычек с дисперсным армированием на совокупность эксплуатационных и монтажно-транспортных нагрузок, а также исследовать их напряженно-деформированное состояние с использованием современных программных комплексов, в том числе ANSYS 14.0

7. Провести сравнительные экспериментальные исследования несущей способности, деформативности и трещиностойкости стандартных железобетонных и сталефибробетонных перемычек.

8. Разработать новые конструктивные решения фибробетонных перемычек зданий и сооружений, исключающие поперечное и конструктивное стержневое армирование.

9. Разработать нормативно-техническую документацию на изготовление фибробетонных перемычек в условиях действующего производства на заводах железобетонных изделий и конструкций.

10. Выполнить технико-экономическое обоснование эффективности производства и применения фибробетонных перемычек, дать количественную оценку снижения материалоемкости, трудоемкости и стоимости данных конструкций за счет уменьшения их габаритных размеров и исключения из производственного процесса технологических переделов по изготовлению и сварке арматурных каркасов.

Научная новизна.

1. Аналитически обоснованы граничные условия, критерии и параметры рационального использования фибробетона на основе стальной и неметаллической высокомодульной фибры в качестве самостоятельного конструкционного материала для малоформатных изгибаемых балочных элементов (перемычки различных типоразмеров для зданий и сооружений), позволяющего существенно улучшить качественные показатели данных конструкций.

2. Впервые предложен и реализован комплексный подход к количественной оценке связи несущей способности, трещиностойкости и деформативности дисперсно-армированных перемычек, выполненных в фибробетонном, а также комбинированном вариантах, с параметрами нагружения и расчетными характеристиками бетона-матрицы, дисперсной и дискретной арматуры.

3. Получены обобщающие аналитические зависимости, связывающие несущую способность, трещиностойкость и деформативность фибробетонных малоформатных изгибаемых элементов с комплексом показателей, таких как масштабный фактор, характер и уровень нагружения, физическая нелинейность материалов, упруго-деформативные характеристики стальной и высокомодульной неметаллической фибры, суммарный процент дискретного и дисперсного армирования.

4. Теоретически обоснована экспериментально подтверждена повышенная несущая способность, жесткость (на 20-40%) и особенно трещиностойкость ($a_{\text{кр}} < 0,1 \text{ мм}$) сталефибробетонных перемычек по сравнению со стандартными железобетонными аналогичных марок и типоразмеров.

5. Разработано конструктивное решение сталефибробетонных перемычек с принципиально новым комбинированным дисперсным армированием и для их различных видов и типоразмеров обоснована рациональная область его применения.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Аналитические зависимости и алгоритмы расчета, связывающие несущую способность, деформативность и трещиностойкость фибробетонных перемычек с параметрами нагружения, прочностными и деформативными характеристиками бетона, стержневой и дисперсной арматуры, размерами пролетов и параметрами сечений, отражающие конструктивные и технологические особенности производимой номенклатуры перемычек, как малоформатных изгибаемых элементов для зданий и сооружений различного назначения.

2. Результаты теоретических и многофакторных численных экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния фибробетонных перемычек с использованием программного комплекса «AnSYS 14.0», позволяющего моделировать упруго-деформативные характеристики бетона, стержневой и дисперсной арматуры с учетом физической и геометрической нелинейности, а также реализовывать их совместную работу под действием монтажных, транспортных и эксплуатационных нагрузок в зависимости от характера нагружения.

3. Результаты сравнительных экспериментальных исследований несущей способности, деформативности и трещиностойкости перемычек с типовым каркасно-стержневым и комбинированным сталефибробетонным армированием.

4. Конструктивные решения несущих сталефибробетонных перемычек с комплексным армированием, позволяющие оптимизировать технологические процессы их производства по критериям снижения материалоемкости и трудоемкости изготовления, а также существенно улучшить показатели их эксплуатационной надежности (патент РФ №127101).

5. Критерии оценки возможностей проектирования и реализации конструктивных решений перемычек различных типов в фибробетоне на основе стальной и высокомодульной неметаллической фибры с полным исключением поперечной и конструктивной стержневой арматуры в части снижения трудоемкости и улучшения технологичности их изготовления, а также рациональных областей применения бетонов повышенной прочности (В30 и более) и современных классов ненапрягаемой арматуры (A500С, A600С), позволяющих дополнительно обеспечить существенное снижение материалоемкости (бетона до 40 – 50%, стержневой арматуры до 50 – 70%).

6. Результаты технико-экономического обоснования производства и применения фибробетонных перемычек на основе стальной и высокомодульной неметаллической фибры.

7. Результаты опытно-промышленной апробации и внедрения разработанных конструктивных и технологических решений в производство широкой номенклатуры фибробетонных перемычек различных марок и типоразмеров для зданий и сооружений промышленного и жилищно-гражданского назначения.

Практическое значение. Практическое значение работы заключается в том, что перевод производства широкой номенклатуры перемычек для зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения с традиционного стержневого на дисперсное армирование стальной и неметаллической высокомодульной фиброй позволяет в значительной степени исключить негативные факторы, связанные с низкой технологичностью, трудоемкостью и высоким удельным расходом стали в типовых решениях перемычек. Разработанные автором конструктивные решения позволяют существенно снизить расход бетона и стержневой арматуры (в 2 – 3 раза), практически вдвое сократить трудоемкость изготовления перемычек за счет исключения работ по резке арматуры и сварке каркасов, а также повысить их качественные показатели.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Оценка достоверности результатов диссертационных исследований автора основана на воспроизводимости полученных в аккредитованной лаборатории с применением аттестованных технических средств измерения и оборудования, результатов определения физико-механических и эксплуатационных показателей фибробетонных

перемычек, а также вероятностной оценки основных результатов исследований. Теоретические зависимости, положенные в основу расчета параметров малоформатных изгибаемых фибробетонных элементов базируются на основных теоретических положениях механики деформируемых твердых тел и хорошо согласуются с опубликованными по теме диссертации экспериментальными данными других авторов.

Апробация работы. Основные положения и результаты докладывались и обсуждались на Всероссийских и Международных научно-технических конференциях, в том числе, научно-технических конференциях аспирантов и молодых ученых Уфимского государственного нефтяного технического университета (Секция строительства и архитектуры), Самарского государственного архитектурно-строительного университета (Секция железобетонных конструкций), региональных научно-технических конференциях «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, 2011 г.), «Строительство, архитектура и коммунальное хозяйство» (г. Уфа, 2008, 2009 г.), XV Академических чтениях РААСН – международной научно-технической конференции «Достижения и проблемы материального и модернизации строительной индустрии» (г. Казань, 2010 г.), международной научно-технической конференции «Проблемы прочности и долговечности бетона и железобетона» (г. Уфа, 2011 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников, приложений. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 71 иллюстрацию, 35 таблиц и 14 приложений. Список использованных источников включает 127 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены исторические аспекты становления и развития фибробетона на основе стальной и неметаллической фибры как конструкционного материала, отражены последние достижения и существующие проблемы в данной области, обозначены перспективы его применения в различных областях строительства, сформулирована рабочая гипотеза о технической целесообразности и возможности применения фибробетона в качестве основного конструкционного материала для таких массовых малоформатных изгибаемых балочных элементов, как перемычки различных типов для жилых и общественных зданий с кирпичными стенами.

Проблемами производства и применения конструкций на основе фибробетона в мире занимаются уже более ста лет, в отечественной практике сталефибробетон впервые упоминается в 1907 году профессором В.П. Некрасовым. Значительный вклад в развитие науки и практики в этой области внесли такие отечественные ученые, как А.А. Гвоздев, Ю.М. Баженов, Д.К. Батаев, В.Н. Банков, В.В. Бабков, О.Я. Берг, В.М. Бондаренко, А.С. Бочарников, И.В. Волков, Ф.А. Гофштейн, Ю.В. Зайцев, К.М. Королев, Б.А. Крылов, Л.Г. Курбатов, Е.Г. Кутухтин, Э.Б. Колбаско, И.А. Лобанов, У.Х. Магдеев, Л.А. Малинина, К.В. Михайлов, А.Л. Маилян, Л.Р. Маилян, В.И. Морозов, А.С. Носков, И.Г. Овчинников, Е.М. Пересыпкин, Ю.В. Пухarenко, Ф.Н. Рабинович, В.П. Романов, В.С. Стерин, Б.Г. Скрамтаев, К.В. Талантова, Т.К. Хайдуков, В.Г. Хозин, Ю.Н. Хромец, Г.А. Шкунов, Ф.И. Янкевич, В.И. Харчевников, Е.М. Чернышов и др., а также зарубежные ученые А. Келли, Д.П. Ромуальди, И.А. Мэндель, К.Д. Джонсон, Р.А. Колеман, С. Томас, Х. Крепхель, В. Рилей, Д.И. Хеннетт, Г. Крепдель, В. Лос, Г. Лилхолт, М.Р. Питтотт, П.С. Мэнгат, Б.Б. Бруме, Э. Ву, Г.С. Холлистер, С.Т. Милейко, Дж. Купер и др.

Существенное расширение возможностей применения сталефибробетонных изделий и конструкций в практике отечественного строительства стало возможным в связи с появлением крупных предприятий – производителей стальной и неметаллической фибры по различным технологиям, таких как НПО «Магфибрастрой» (резка стального листа), ООО «ММК-МЕТИЗ» (рубка проволоки) в г. Магнитогорск, НПО «Волтек» (резка стального листа) в г. Челябинск, ООО «Гидромон» (рубка проволоки и вытяжка из расплава) в г. Санкт-Петербург, ООО «Курганстальмост»

(фрезерование сляба) в г. Курган, НПП «Инвертор» (вытяжка из расплава) в г. Уфа, а также НПО «Вулкан» - крупный производитель базальтовой фибры в г. Пермь.

Как показала практика, использование фибробетона в дорожно-транспортном и специальном строительстве экономически оправдано, и в будущем имеет тенденцию к расширению. Многочисленными исследованиями, проведенными отечественными и зарубежными исследователями, было доказано, что наиболее рациональными областями применения фибробетона вообще, и сталефибробетона в частности, как самостоятельного конструкционного материала, являются тонкостенные изделия и конструкции сложного очертания (трубы, арочные сегменты, лотки и др.). Это объясняется суммарными положительными практическими эффектами, связанными, прежде всего, с исключением (или существенным сокращением) сложных арматурных каркасов криволинейного очертания в производстве названных конструкций, а также их повышенной жесткостью и трещиностойкостью. Не менее перспективной областью применения фибробетона, на наш взгляд, являются малоформатные изгибаемые элементы и изделия (перемычки, прогоны и др.), которые повсеместно применяются во всех сферах жилищно-гражданского и промышленного строительства. Является парадоксальным, что данные малогабаритные железобетонные конструкции с типовым армированием (плоские или пространственные сетки или каркасы из арматуры самых распространенных классов А-I, А-II, А-III (А240-А400)), опыт производства и эксплуатации которых насчитывает почти столетнюю историю, не удовлетворяют нынешним стандартам «новой экономической политики», ориентированной, прежде всего, на повышение качества, снижение материалоемкости и стоимости продукции. По мнению ряда исследователей, высокий процент дефектности и низкой эксплуатационной надежности данных конструкций связан, прежде всего, с особенностями их напряженно-деформированного состояния и реальных условий работы, которым, безусловно, не уделялось должного внимания в действующих нормативных документах (серия 1.038.1 и др.), практически не изменившихся с пятидесятих годов прошлого века. Кроме того, производство перемычек по стандартным технологиям связано со значительной трудоемкостью и энергоемкостью изготовления арматурных изделий, необходимостью применения металлоемких опалубочных форм и использованием дорогостоящего оборудования по автоматической и полуавтоматической сварке каркасов. При этом большой процент дефектности и даже «заводского брака» из-за пережога арматуры (рис.1) не позволяет оптимизировать конструкцию перемычек за счет сокращения размеров поперечных сечений и армирования при использовании высокопрочных бетонов и новых прогрессивных видов ненапрягаемой арматуры А500С, А600С (прочностные характеристики которых, при равной стоимости, на 20-40% выше чем А400), производство которой в значительных объемах освоили отечественные предприятия.

Пережог арматуры от
дуговой сварки

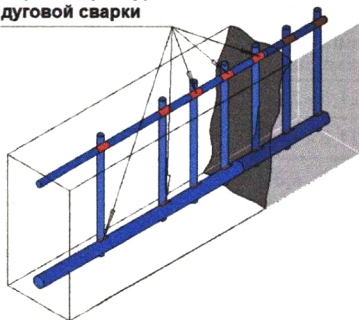


Рисунок 1 – Зоны пережога арматуры в типовых железобетонных перемычках

В результате, суммарная стоимость кубометра железобетона перемычек различных типов (брусковых, балочных и плитных) значительно превышает аналогичную для прочих типовых сборных железобетонных конструкций заводского изготовления (многопустотные плиты перекрытий, фундаментные блоки и др.), не говоря уже о монолитном железобетоне, что делает их производство нерентабельным, даже несмотря на их большую востребованность.

Использование фибробетонов для производства данных конструкций позволит решить названные проблемы, в частности обеспечить существенное снижение их материалоемкости и стоимости за счет уменьшения рабочих сечений

конструкций, сокращения армирования (или даже полного исключения некоторых видов арматурных изделий), возможность массового производства различных типов малоформатных изгибаемых фибробетонных конструкций на высокопроизводительных автоматизированных линиях безопалубочного формования, улучшение основных конструктивных показателей (несущей способности, трещиностойкости, ударо- и износостойкости, коррозионной стойкости и технологической надежности) перемычек на всех стадиях их «жизненного цикла» - транспортировки, монтажа и эксплуатации.

Во второй главе приведены характеристики используемых исходных материалов и методы экспериментальных исследований несущей способности, трещиностойкости и деформативности фибробетонных перемычек, целью которых являлась отработка реальной методики испытаний представленных конструкций и получение контрольных данных для дальнейшего сравнения со стандартными железобетонными перемычками (с типовым армированием). Описаны измерительные приборы и оборудование, а также методики проведения испытаний фибробетонных перемычек на изгиб при кратковременном действии статической нагрузки.

Для проведения экспериментальных исследований использовались основные типы стальной и неметаллической (базальтовой) фибры серийно выпускаемой отечественными предприятиями. Все образцы фибры были испытаны на разрыв при помощи высокоточной разрывной машины с целью подтверждения упруго-деформативных свойств данных типов дисперсной арматуры (фибры) при растяжении, указанных в технических условиях и паспортах предприятий-производителей. При этом фиксировались следующие основные показатели: напряжения, соответствующие пределу текучести (физическому или условному) и временному сопротивлению (предшествующему разрыву), а также относительное удлинение образцов фибры. Результаты испытаний (табл. 1) в целом подтверждают заявленные технические показатели и позволяют сделать вывод о том, что отечественные производители (за небольшим исключением) могут обеспечить потребность предприятий строительной индустрии в дисперсной арматуре (как стальной, так и высокомодульной неметаллической) для производства различных типов изделий и конструкций, в том числе и фибробетонных перемычек. Анализ показал, что наиболее качественная фибра получается способами резки высокопрочной проволоки или вытяжкой из расплава, однако из-за ее повышенной стоимости (в связи с малыми объемами изготовления) массовое производство фибробетонных конструкций вынуждено ориентироваться на стальную фибру среднего качества, выпускаемую в достаточных объемах по технологии резки стального листа.

В настоящее время имеются различные типы классификации дисперсной арматуры по физико-механическим показателям, классификация фибры, используемая в данной работе (предложенная в УГНТУ), приведена в таблице 2.

Таблица 1 - Результаты испытаний образцов фибры различных предприятий

Тип и производитель фибры	Длина фибры, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Относительное удлинение при разрыве, %	Среднее временное сопротивление $\sigma_{\text{ср.}}$, МПа
ООО НПК «Волтек»	35 - 45	0,49 - 0,6	21,5 - 22,6	337,22*
ЗАО «Курганстальмост»	25 - 30	1,25 - 2,1	11,9 - 12,5	561,62**
ООО «Гидромон» (проволочная)	50	0,75 - 0,85	6,2 - 6,6	1084,31**
ООО «Гидромон» (нержавеющая)	30 - 32	0,29 - 0,58	15,1-15,6	486,73*
НПО Магфибрастрой	40 - 45	0,82 - 0,89	14,1-16,2	622,3*
НПП «Инвертор»	45 - 52	0,32 - 0,4	4,7 - 4,9	876,2**
НПО «Вулкан»	6 - 24	0,009 - 0,012	1,4 - 3,6	2410,93**

Примечание: * - разрушение пластичное; ** - разрушение хрупкое

Таблица 2 - Классификация стальной и высокомодульной неметаллической фибры

Тип фибры	Расчетное сопротивление Растяжению R_t , МПа	Длина, l_f , мм	Относительная длина l/d_f	Козф. η_f , учитывающий анкеровку фибры
1* (1**)	440-580	35-50	≈ 50	0,6-0,7* (0,8-0,9**)
2* (2**)		70-100	≈ 100	0,6-0,7* (0,8-0,9**)
3* (3**)	950-1050	35-50	≈ 50	0,6-0,7* (0,8-0,9**)
4* (4**)		70-100	≈ 100	0,6-0,7* (0,8-0,9**)

Примечание: * - тип фибры и соответствующее ему эффективное значение коэффициента η_f за счет завитости, шероховатости поверхности, анкеров на концах; ** - тип фибры и соответствующее ему пониженное по эффективности значение коэффициента η_f (гладкая фибра).

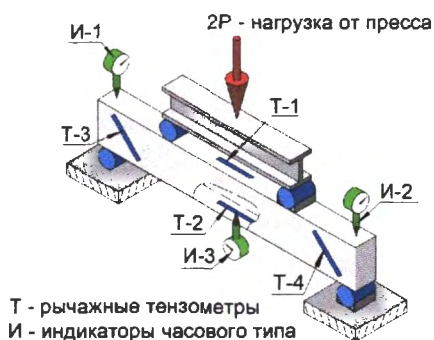
Специфика механизма разрушения и формирования прочностных характеристик фибробетона с учетом соотношения прочностных и геометрических характеристик различных видов стальной и базальтовой фибры была подтверждена данными испытаний стандартных образцов кубов и призм. Показатели прочности исходного бетона определялись по контрольным образцам из неармированного бетона. Результаты испытаний прочностных и упруго-деформативных показателей фибробетонных образцов приведены в таблице 3. В частности, при значениях объемного процента дисперсного армирования 0,8 - 2% ($\mu_v=0,008 \dots 0,02$) для данного бетона класса прочности $\approx B30$ прочность сталефибробетона на сжатие по отношению к бетонной матрице возрастает в 1,2 - 1,4 раза, прочность на растяжение при изгибе повышается в 2 - 3 раза, что коррелируется с результатами, полученными другими исследователями.

Для проведения испытаний были использованы опытные образцы экспериментальных сталефибробетонных и стандартных железобетонных перемычек с реальными размерами и конструктивными особенностями, применяемые в жилищно-гражданском строительстве в качестве несущих конструкций (брусовая перемычка ЗПБ16-37), что позволило избежать влияния масштабного фактора. При проведении сравнительных испытаний несущей способности, трещиностойкости и деформативности сталефибробетонных и типовых железобетонных перемычек была создана согласно действующей серии экспериментальная установка (рис.2),

Таблица 3 – Результаты определения прочностных и упруго-деформативных показателей фибробетона на основе фибры различных предприятий

Тип и производитель фибры ($\mu_v=0,015$)	Испытания балок на растяжение при изгибе			Испытания кубов на сжатие			Испытание призм для определения модуля упругости
	Средняя прочность $R_{изг}$, МПа		Расчетное сопротивление осевому растяжению $R_{тн}$, МПа	Средняя прочность на сжатие R , МПа		Расчетное сопротивление на сжатие $R_{сж}$, МПа	Среднее значение начального модуля упругости, МПа
	100х100х400 мм	Приведенная к стандартным образцам		100х100х100 мм	Приведенная к стандартным образцам		
ООО Гидромон» (нержавеющая)	8,5	7,8	2,7	54,7	52,0	23,4	$35,12 \cdot 10^3$
ООО Гидромон» (проволочная)	13,9	12,78	4,42	55,1	52,34	23,55	$35,05 \cdot 10^3$
НПО «Вулкан» *	22,3	20,5	7,1	64,5	61,3	27,6	$33,81 \cdot 10^3$
НПП «Инвертор»	18,5	17,00	5,88	60,0	56,99	25,64	$36,11 \cdot 10^3$
ООО НПК «Волвек»	7,8	7,2	2,5	50,7	48,2	21,7	$35,04 \cdot 10^3$
Бетон - матрица	3,14	2,9	1,0	39,7	37,7	17,0	$32,51 \cdot 10^3$

* - Фибробетоны на базальтовом волокне, вследствие его малой длины ($l_f \leq 24$ мм) изготавливались с использованием мелкозернистого бетона-матрицы примерно той же прочности ($R = 38,6$ МПа, $R_{изг} = 3,09$ МПа), при этом размер фракции крупного заполнителя составляла 5 - 10 мм.



T - рычажные тензометры

И - индикаторы часового типа

Рисунок 2 - Схема размещения измерительных приборов и загрузки перемычки

позволяющая создать, соответствующее условиям эксплуатации данных конструкций, напряженное состояние поперечного изгиба. Опираемые испытываемые балочные образцы осуществлялось шарнирными линейными опорами, нагрузка на испытываемые образцы (в соответствии со схемой испытаний по серии 1.038.1-1 «Перемишки брусковые для жилых и общественных зданий») прикладывалась двумя сосредоточенными силами. В ходе проведения испытаний фиксировались следующие данные: значение нагрузки, деформации, значение максимального прогиба в середине пролета на каждом этапе нагружения, численное значение относительных деформаций на этапе

перед разрушением, значение разрушающей нагрузки, место и характер разрушения.

В третьей главе приводятся результаты сравнительной оценки несущей способности, деформативности и трещиностойкости малоформатных изгибаемых конструктивных элементов с типовым и дисперсным армированием.

Применение фибробетона для малоформатных изгибаемых элементов дает дополнительные эффекты связанные, прежде всего с тем, что при уменьшении ширины сечения значительно улучшается ориентация дисперсных волокон в двух направлениях относительно направления действия главных растягивающих напряжений (рис.3), однако относительно его количественного учета у исследователей нет единого мнения. В частности, европейские нормы (Eurocode-2) при учете масштабного фактора (K_b) ориентированы на эмпирический подход, основанный на испытании большого числа фибробетонных балок, при фиксированной ширине и переменной высоте сечения (от 12,5 до 60 см) и при этом определено существенное влияние данного фактора в повышение расчетного сопротивления фибробетона ($1 < K_b < 2,5$). Однако данная методика очень трудоемка и, к сожалению, не точна, так как не учитывает ряд важных

факторов, таких как характеристики фибры, ширина сечения, параметры трещиностойкости и др. Исследования показали, что для малоформатных изгибаемых фибробетонных элементов масштабный фактор более рационально определять уточненным значением расчетного коэффициента k_{or} (в отечественных нормативах) при определении расчетного сопротивления R_{fb} , формула (1).

$$R_{fb} = m_1 \left[K_T k_{or}^2 \mu_f R_f \left(1 - \frac{l_{fcr}}{l_f} \right) + 0,1 R_b (0,8 - \sqrt{2 \mu_f - 0,005}) \right] \quad (1)$$

Аналитические зависимости, подтверждающие данный вывод, для различных типов фибр в зависимости от минимального размера поперечного сечения балочного элемента,

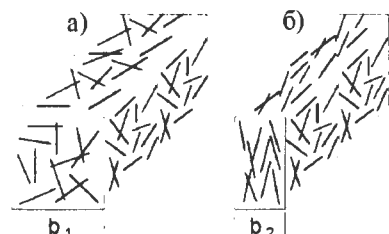


Рисунок 3 - Схема пространственной ориентации фибры в зависимости от ширины (b) поперечного сечения балочного элемента: а) хаотичное ($b/l_f < 20$) распределение фибры, б) с улучшенной ориентацией ($b/l_f > 20$)

приведены на рисунке 4. Анализ расчетных данных показывает, что при уменьшении размеров поперечного сечения балочного элемента расчетное сопротивление фибробетона на растяжение $R_{fb}^{(b,h)}$ по отношению к расчетному сопротивлению для объемно-произвольной ориентации фибр $R_{fb}^3(b, h, l \rightarrow \infty)$ существенно повышается. Полученные коэффициенты повышения расчетного сопротивления сталефибробетона на растяжение $R_{fb}^{(b,h)} / R_{fb}^3$ позволили количественно оценить вклад масштабного фактора в повышение

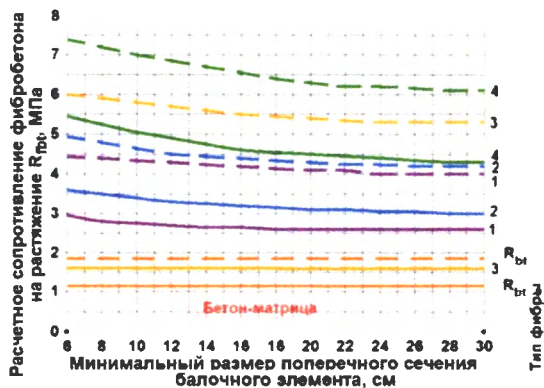


Рисунок 4 - Зависимости расчетного сопротивления фибробетона на растяжение от толщины сечения элемента для бетона-матрицы В30 (—) и В60 (---), фибры четырех типов: 1 - 4 при ее одинаковом диаметре $d_f=0,8$ мм и объемной концентрации $\mu_{fv}=0,015$.

прочности на растяжение фибробетона для всех типов выпускаемых перемычек в рабочем диапазоне объемных процентов дисперсного армирования μ_{fv} (от 0,5 до 2%), в зависимости от типа фибры и класса бетона-матрицы.

Представляется наиболее рациональным, с конструктивной точки зрения, полностью заменить в балочных элементах всю дискретную (стержневую и проволочную) арматуру, как продольную, так и поперечную, на дисперсное армирование, чтобы исключить операции, связанные со сваркой и установкой арматурных каркасов и сеток. Аналитические расчеты с использованием отечественных нормативов показали (рис.5), что значительную номенклатуру выпускаемых пере-

мычек (самонесущих, типа 1ПБ) можно изготавливать исключительно в фибробетоне, и их несущей способности вполне достаточно для восприятия действующих нагрузок в стадии транспортировки, монтажа и эксплуатации. Сопоставление расчетов несущей способности чисто фибробетонных изгибаемых элементов (без стержневой арматуры) по отечественным и зарубежным нормативам не выявляет в них существенных различий, что объясняется отсутствием принципиальных изменений в расчетных схемах. Имеются только некоторые особенности в определении расчетных сопротивлений фибробетона на сжатие и растяжение, в отечественных нормах они определяются расчетным способом, в зарубежных – эмпирическим, на основе испытаний.

Более нагруженные перемычки, в частности марок 3ПБ (рис.6а) и выше, которые предназначены для восприятия нагрузок от и перекрытий, как показывают расчеты нерационально выполнять только с использованием дисперсного армирования, в данном случае требуется либо очень качественная и дорогостоящая фибра, либо значительный процент дисперсного армирования ($\mu_{fv} \gg 1,5\%$). Для таких конструкций будет более оптимальным вариант комплексного дисперсного армирования с сохранением только продольной рабочей арматуры (при возможном уменьшении ее диаметра) и полным исключением рабочей поперечной, конструктивной и монтажной (за исключением петель) арматуры (рис.6б).

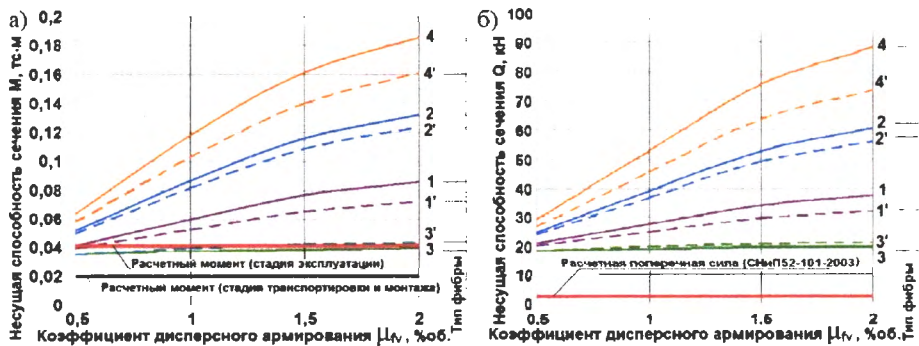


Рисунок 5 - Несущая способность фиброармированного сечения перемычки 1ПБ при классе бетона-матрицы В30: а) на действие изгибающего момента; б) на действие поперечной силы

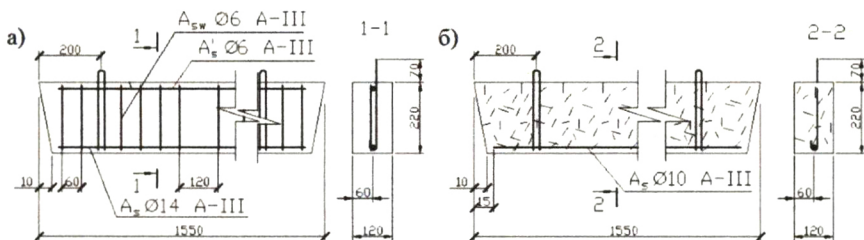


Рисунок 6 - Перемычка ЗПБ16-37-п: а) с традиционным армированием б) на основе сталефибробетона

Проведенные теоретические расчеты, как по нормальным, так и по наклонным сечениям на действие изгибающих моментов и поперечных сил в соответствии с действующими отечественными и зарубежными нормативами (рис.7) показывают, что учет растянутой зоны, формула (2), где дисперсная арматура, в отличие от стандартного железобетонного элемента работает практически до стадии разрушения, для сталефибробетонных перемишек даёт весьма существенное повышение (с учетом масштабного фактора при определении R_{fbl}) несущей способности нормальных сечений, по сравнению со стандартными железобетонными, даже с учетом вклада конструктивной арматуры в сжатой зоне.

$$M_{ult} = R_b b x \left(h - \frac{x}{2} - a \right) - R_{fbl} b (h - x) \left(\frac{h - x}{2} - a \right) > R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A_s' (h_0 - a') \quad (2)$$

Несущая способность сталефибробетонных перемишек по наклонным сечениям на действие поперечных сил (рис.8) за счет вклада не только сжатой, но и растянутой части сталефибробетонного сечения, $Q_b + Q_{fbl} > Q_b + Q_{sw}$, также с достаточным запасом превышает численные значения для стандартных железобетонных с типовым поперечным армированием, даже при незначительных ($\mu_{fv} \approx 0,5 - 0,8\%$) объемных процентах дисперсного армирования.

Применение фибробетона в конструкциях перемишек позволяет не только оптимизировать армирование (исключить арматурные каркасы при сохранении геометрических размеров), но и решить более важную задачу связанную со значительным снижением их материалоемкости (уменьшением размеров поперечных сечений и сокращением их номенклатуры по габаритам) за счет использования современных видов ненапрягаемой арматуры повышенной прочности (A500C, A600C) (рис.9). Расчеты показывают, что использование фибробетона дает максимальный эффект в наиболее нагруженных перемишках марок 4ПБ и 5ПБ, так как позволяет существенно уменьшить размеры их поперечных сечений на 25-52% (с 290x120мм и 250x220 мм до единого размера 220x120 мм).

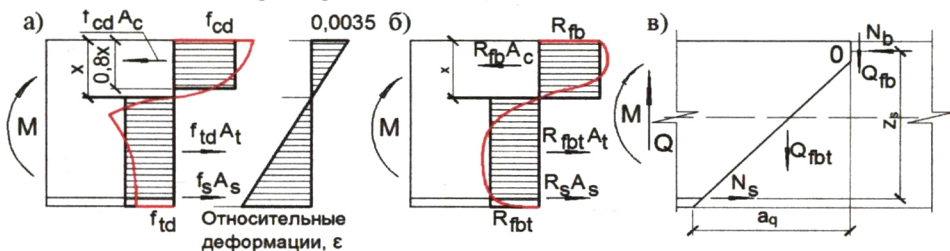


Рисунок 7 – Схемы напряженно-деформированного состояния сталефибробетонных изгибаемых элементов с комбинированным армированием в стадии разрушения а) по нормальным сечениям по Eurocode 2; б) по нормальным сечениям по СП52-104-2006; в) по наклонным сечениям по СП52-104-2006; - - фактическая эпюра напряжений; — - расчетная.

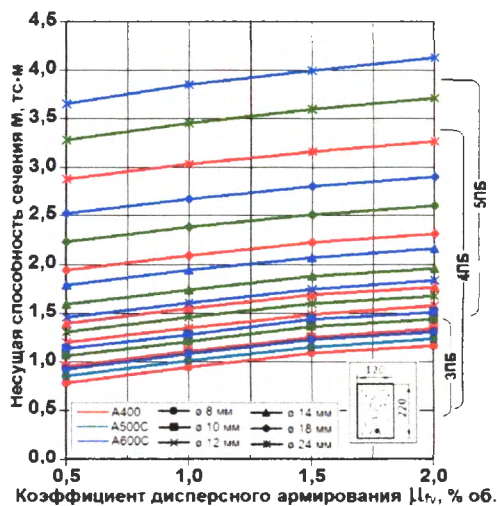
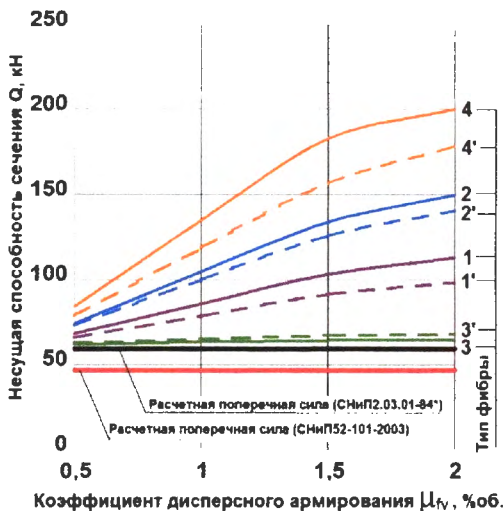


Рисунок 8 - Несущая способность фибробетонной перемычки марки ЗПБ на действие поперечной силы при классе бетона-матрицы В30

Рисунок 9 – Зависимости несущей способности фибробетонной перемычки с различными вариантами комбинированного армирования

Важным преимуществом сталефибробетонных изделий и конструкций по сравнению со стандартными железобетонными является их повышенная жесткость и трещиностойкость, а, следовательно, и долговечность (морозостойкость, водонепроницаемость, коррозионная стойкость). Это обусловлено тем, что в отличие от стандартного железобетона магистральная трещина разбивается на множество мелких, причем не всегда связанных друг с другом, а ширина раскрытия трещин в фибробетонных конструкциях зависит, прежде всего, от класса бетона-матрицы, типа фибры и ее объемной концентрации. Данное принципиальное положение признается практически всеми исследователями, однако, по количественной оценке основного параметра – ширины раскрытия трещины, действующие нормы по проектированию и расчету фибробетонных конструкций, причем не только зарубежные, но и отечественные, до настоящего времени не могут прийти к общему мнению. В частности, если для типовой железобетонной перемычки наиболее массовых марок (типа ЗПБ16-37) ширина раскрытия трещин, определяемая по СНиП 2.03.01-84* ($a_{cr,2}=0,22\text{мм}$) и СНиП 52-101-2003 ($a_{cr,2}=0,26\text{мм} > [a_{cr,2}]=0,25\text{мм}$), незначительно отличаются, формула (3),

$$a_{cr} = \delta \varphi_1 \eta \frac{\sigma_s}{E_s} 20(3,5 - 100\mu)^{\frac{1}{3}} \sqrt{d} \approx \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 \frac{\sigma_s}{E_s} 0,5 \frac{A_{bl}}{A_s} d, \quad (3)$$

то для сталефибробетонной ($\mu_{IV}=1,0\%$, $A_s - \text{Ø}14 \text{ A400}$), рассчитанной как по рекомендациям НИИЖБ ($a_{cr,2}=0,12\text{мм}$), так и по СП 52-104-2006 ($a_{cr,2}=0,047\text{мм}$), она различается более чем вдвое, так как методологии их расчета, формула (4), имеют весьма существенные различия.

$$a_{cr} = \delta \varphi_1 \eta_f \eta_{red} \frac{\sigma_f}{E_f} 20(3,5 - \mu_{red})^{\frac{1}{3}} \sqrt{d_{red}} > \delta \varphi_1 \eta_f \eta_{red} \frac{\sigma_f}{E_f} 20(3,5 - \mu_{red})^{\frac{1}{3}} \sqrt{d_{f,red}} \quad (4)$$

В действующих нормативах также отсутствует единые требования к предельной ширине раскрытия трещин для фибробетонных элементов. В частности, если для данных конструкций с комбинированным дисперсным армированием отечественные нормы дают самые жесткие ограничения ($[a_{cr,1}]=0,10\text{мм}$, $[a_{cr,2}]=0,05\text{мм}$), то Eurocode 2 предъявляет требования к ширине раскрытия трещин в сталефибробетонных конструкциях аналогично стандартным железобетонным ($[a_{cr}]=0,25\text{мм}$). На наш

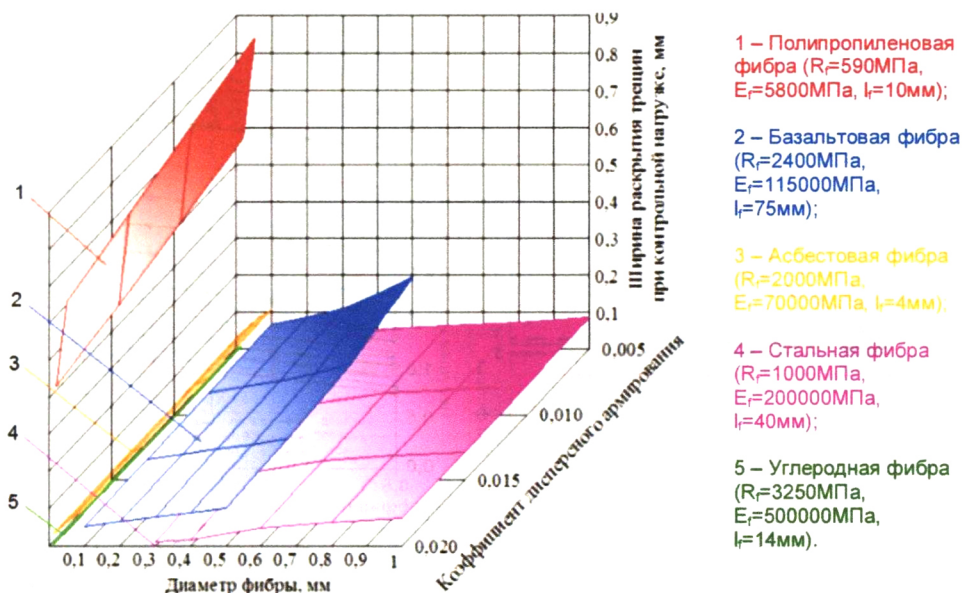
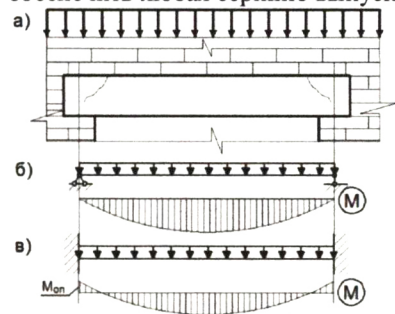


Рисунок 10 - Показатели трещиностойкости фибробетонной перемычки ЗПБ16-37 в зависимости от типа стальной и высокомодульной неметаллической фибры

взгляд, зарубежные нормативы в части трещиностойкости более рациональны в практическом плане, но, данные положения, безусловно, необходимо подтверждать дополнительными экспериментальными исследованиями.

Имеются перспективы использования не только стальной, но и неметаллической фибры в малоформатных изгибаемых элементах. Расчеты на образование и раскрытие трещин, проведенные для перемычек с использованием различных типов производимой фибры (стальной, базальтовой, углеродной, полимерной) (рис.10), показали соответствие количественной оценки трещиностойкости от качества фибры (геометрические характеристики, тип материала фибры) и ее объемной концентрации. В принципе, достаточно высокую несущую способность и трещиностойкость может обеспечить любая серийно выпускаемая стальная и неметаллическая высокомодульная



**Рисунок 11 - Опираие перемычки и схемы ее нагружения:
а) реальная конструкция,
б) балочная схема с шарнирным опирием, в) с учетом частичного заземления на опорах**

фибра, которая, так же как и стальная, может быть рекомендована к использованию в производстве данных конструкций.

Как отмечалось выше, одной из основных причин низкой эксплуатационной надежности стандартных железобетонных перемычек является то обстоятельство, что в действующих отечественных нормативных документах (разработанных еще в СССР более пятидесяти лет назад) все типы перемычек для зданий с кирпичными стенами (рис.11а) считаются по идеализированной схеме как шарнирно опертые балки, загруженные равномерно распределенной нагрузкой (рис.11б), при этом, отрицательный изгибающий момент в защемлении ($M_{on} \leq 0,15M$) в расчетах не учитывается, так как считается, что им можно пренебречь. Однако численные

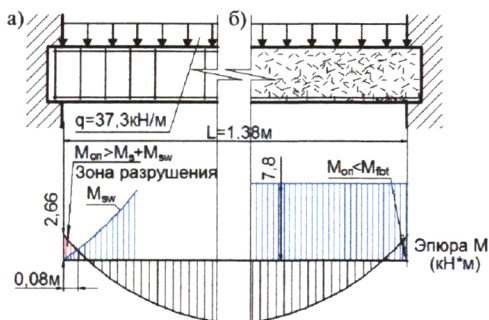


Рисунок 12 - Количественная оценка влияния опорного момента для стандартной железобетонной (а) и сталефибробетонной (б) перемычек типа ЗПБ16-37.

показывает практика, может привести не только к существенным дефектам, но и даже разрушению перемычек в опорных зонах, что чревато потерей несущей способности, целостности кладки и даже здания в целом. Стандартные железобетонные перемычки с типовым армированием на отрицательный изгибающий момент в опорной зоне практически не работают (рис.12а), т.к. верхняя конструктивная арматура, во-первых, имеет недостаточный диаметр, а во-вторых, её в принципе нельзя учитывать в расчетах ($M_{\text{оп}} \rightarrow 0$), из-за ее возможного пережога от ручной дуговой сварки при изготовлении арматурных каркасов. Сталефибробетонная перемычка, даже при незначительном проценте дисперсного армирования ($\mu_f = 0,6-0,8\%$), способна воспринимать значительные опорные изгибающие моменты без разрушений, несмотря на то, что она не имеет стержневой арматуры в верхней части сечения (рис.12б).

В связи с тем, что компьютерное моделирование практически более двадцати лет используется в конструктивных расчетах, как зданий и сооружений в целом, так и отдельных конструкций, позволяя повысить точность и снизить трудоемкость расчетов, оптимизировать конструктивные решения, то значительный научный и практический интерес представляет изучение напряженно-деформированного состояния сталефибробетонных малоформатных изгибаемых элементов (типа перемычек) с использованием современных программных комплексов и количественная оценка соответствия представленных выше расчетных схем их реальной работе. Так как значительная часть используемых в проектировании компьютерных программ (Scad Office, Лира и др.) не позволяет учитывать физическую нелинейность работы сталефибробетона при нагружении (в данном случае это очень важно, так как предельные деформации растяжения сталефибробетона отличаются от обычного тяжелого бетона почти на порядок), для данных целей использовался более сложный программный комплекс AnSys 14.0, который позволяет использовать реальные упруго-пластические характеристики применяемых конструкционных материалов. Компьютерное моделирование (рис.13) полностью подтвердило

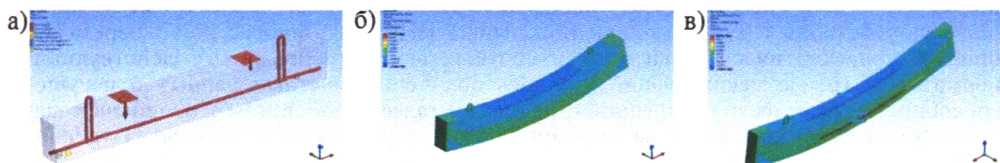


Рисунок 13 – Схема загрузки и напряженно-деформированное состояние сталефибробетонной перемычки ЗПБ16-37 при действии контрольной нагрузки в стадии разрушения ($P_{\text{доп}}=4350\text{кгс}$): а) схема загрузки, б) – нормальные напряжения σ_x (по наружным плоскостям), в) – нормальные напряжения σ_x (продольный разрез).

исследования показали, что данный вывод справедлив только для кладки с невысоким модулем упругости, что соответствовало применяемым в то время строительным материалам (марка кирпича не более М100, раствора не более М50). В современном строительстве, где повсеместно используется высокомарочный керамический и силикатный кирпич (М200÷М300), а также мелкоштучные вибропрессованные блоки из высокопрочного бетона и высокомарочные растворы (с химическими добавками), неучет отрицательного изгибающего момента (рис.11в) ($M_{\text{оп}}=0,4\div 0,6M$), как

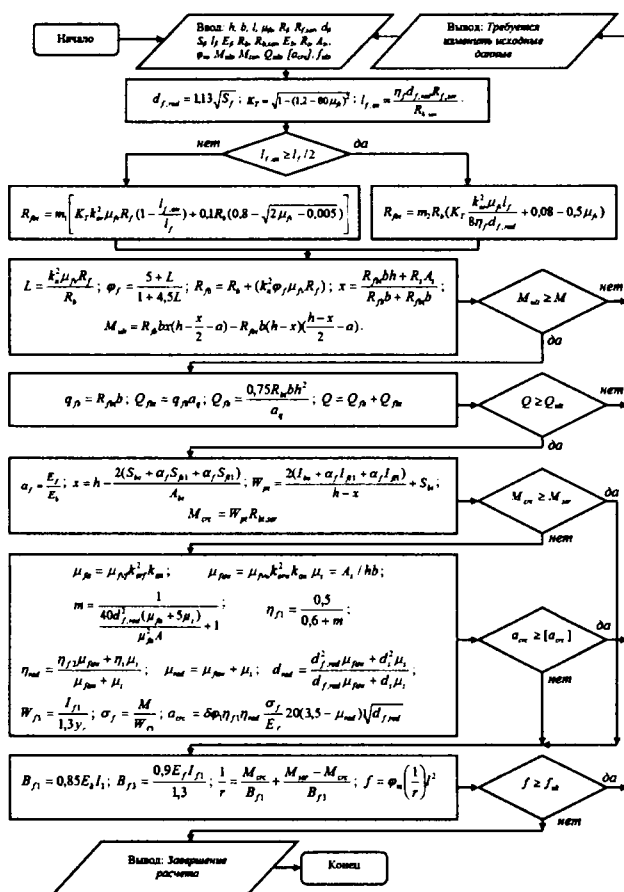


Рисунок 14 – Алгоритм автоматизированного расчета несущей способности, трещиностойкости и деформативности сталефибробетонных перемычек

СП52-104-2006 (с конкретизацией параметров k_{st} , R_{st} , R_{sp} , $[σ_{cr}]$) разработать программу автоматизированного расчета несущей способности, трещиностойкости и деформативности сталефибробетонных перемычек различных типов (по уровню нагружения и типоразмерам) на действующие нагрузки в стадии строительства и эксплуатации, алгоритм которой приведен на рисунке 14.

В четвертой главе представлены программа и результаты экспериментальных исследований натурных образцов стандартных железобетонных и экспериментальных сталефибробетонных (бетон-марка В30, фибра НПО «Магфибрастрой») перемычек при действии статических нагрузок в соответствии с требованиями действующих нормативов. Целью исследований являлось получение опытных данных о несущей способности, жесткости и трещиностойкости сталефибробетонных перемычек для сравнения с теоретическими нагрузками (стадии образования и раскрытия трещин, разрушения) и подтверждение возможности их использования в производстве на предприятиях строительной и проектной индустрии.

Было изготовлено и испытано шесть натурных образцов, которые были разделены на две группы. В первую группу входили три образца стандартной железобетонной

соответствие напряженно-деформированного состояния, а также параметров несущей способности, трещиностойкости и деформативности сталефибробетонной перемычки ЗПБ16-37 результатам ранее выполненных расчетов. При этом следует отметить одно важное положительное качество работы сталефибробетонной перемычки с комбинированным армированием – разрушение происходит от достижения предела текучести продольной арматуры (рис. 13в), но при этом сталефибробетон в растянутой зоне имеет еще достаточный запас по прочности и деформативности, что подтверждает повышенную эксплуатационную надежность фибробетонных балочных элементов по сравнению со стандартными железобетонными.

Проведенный анализ напряженно - деформированного состояния малоформатных изгибаемых сталефибробетонных элементов с использованием отечественных и зарубежных нормативных документов, а также современных программных комплексов позволил на основе

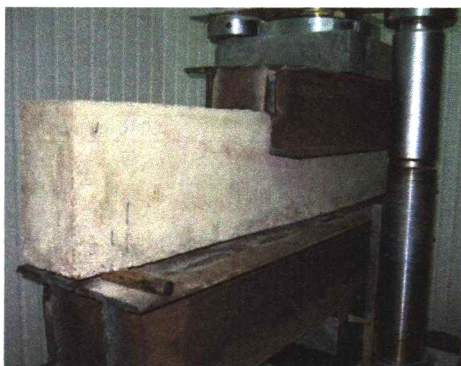


Рисунок 15 - Экспериментальная сталефибробетонная перемычка ЗПБ16-37 с комбинированным армированием

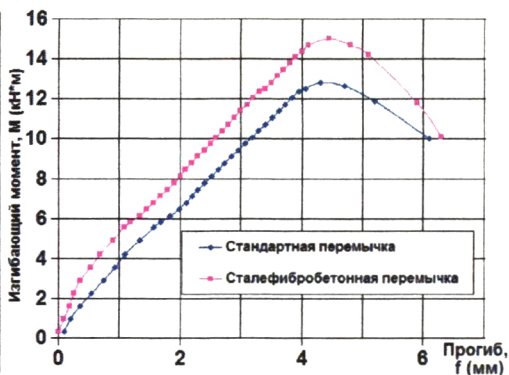


Рисунок 16 - Зависимость деформаций от величины прикладываемого изгибающего момента для перемычки ЗПБ16-37

перемычки с типовым продольным и поперечным армированием, во вторую также три экспериментальные сталефибробетонные перемычки (без поперечного и конструктивного армирования). Испытания производились в соответствии с требованием действующей серии 1.038.1-1 «Перемычки брусковые для жилых и общественных зданий». Для нагружения вертикальными нагрузками установка (рис.15) устанавливалась в пресс ИП-1000, а нагрузка передавалась через жесткую траверсу и шарниры скольжения. По результатам испытаний были получены данные о несущей способности, деформативности и трещиностойкости сталефибробетонных перемычек в сравнении со стандартными железобетонными (в табл.4, рис.16, 17). Проведенные испытания свидетельствуют о том, что сталефибробетонные перемычки, к тому же, изготовленные без использования поперечного рабочего и конструктивного армирования, с практически двукратным

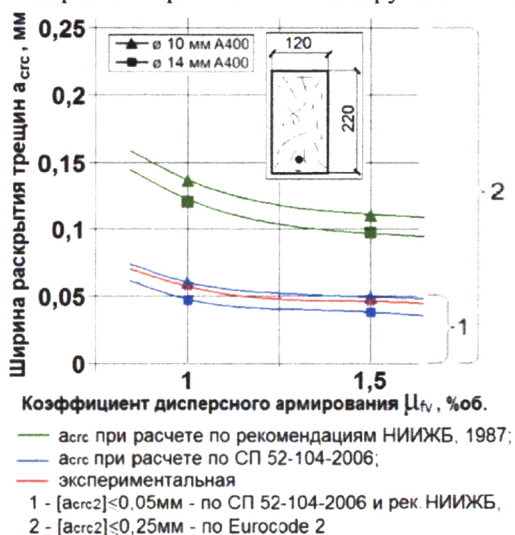


Рисунок 17 – Расчетные и экспериментальные зависимости трещиностойкости сталефибробетонной перемычки от вариантов комбинированного армирования

сокращением площади рабочей продольной арматуры (для сталефибробетонной перемычки с комбинированным армированием Ø10мм - $A_s=78,5\text{мм}^2$, для типовой Ø14мм - $A_s=153\text{мм}^2$), обладают, при практически одинаковой несущей способности, значительно более высокой трещиностойкостью, сопоставимой только с преднапряженными конструкциями. Также прогнозируется их более высокая удельная ударная стойкость и выносливость, что является немаловажным преимуществом для данного типа малоформатных изгибаемых конструкций, подверженных действию динамических монтажных и транспортных нагрузок.

В пятой главе описаны особенности производства фибробетонных перемычек в условиях действующего производства на заводах железобетонных изделий и дана оценка технико-экономической эффективности их производства и применения.

Таблица 4 - Сравнение результаты испытаний типовых и сталефибробетонных перемычек

Показатель	Способ армирования	Типовое армирование	Сталефибробетонная перемычка
Прогиб от кратковременной нагрузки ($R_{доп}=1870\text{кгс}$)		2,05мм	1,12мм
Ширина раскрытия трещин ($R_{доп}=2255\text{кгс}$)		0,22мм	0,046мм
Фактическая разрушающая нагрузка, $R_{доп}$ ($R_{доп}=3615\text{кгс}$ при $C=1,4$ и $R_{доп}=4155\text{кгс}$ при $C=1,6$)		4030кгс	4535кгс

Важным преимуществом сталефибробетонных конструкций является возможность их изготовления по стандартным технологическим схемам (конвейерная, поточно-агрегатная, стендовая и др.) с использованием действующего оборудования, что очень важно в условиях реконструкции и технического перевооружения заводов ЖБИ. Для опытно-промышленного внедрения производства сталефибробетонных перемычек в многосместных формах была использована апробированная (для выпуска различных изделий дорожно-транспортного назначения: лотков, труб, сегментов малопролётных арочных мостов) технологическая линия ЗЖБИ ГУП «Башкиравтодор» с использованием двухвальных автоматизированных смесителей принудительного действия с горизонтальным расположением валов. Данная технология, в отличие от стандартной (с использованием планетарных противоточных смесителей с вертикальным расположением валов), за счет отказа от операций с сухим перемешиванием компонентов позволяет не только обеспечить заданную производительность, но и исключить преждевременный абразивный износ смесительного оборудования. Для получения бетона-матрицы класса В30 в производстве сталефибробетонных перемычек был применен следующий состав: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Б – 420 кг, песок $M_{кр}=2,1 - 2,2 - 600$ кг, щебень фракции 5 - 15 мм – 1190 кг, пластификатор Remicrete – 0,85кг, В/Ц=0,33 - 0,36. Далее сталефибробетонная смесь загружалась в многосместную форму для изготовления перемычек, после чего производилось виброуплотнение и термовлажностная обработка по стандартным режимам в бетонных камерах ямного типа.

Экономический эффект при изготовлении малоформатных балочных элементов, к которым относятся перемычки жилых и общественных зданий, достигается за счет сокращения требуемых производственных площадей, значительного снижения трудозатрат (связанных с изготовлением пространственных и плоских арматурных каркасов и их установкой в проектное положение с соблюдением требуемой толщины защитного слоя бетона), а также за счет многократного повышения жесткости, трещиностойкости и долговечности данных конструкций. Расчет экономии при применении комбинированного дисперсного армирования вместо традиционного при изготовлении наиболее распространенной брусковой перемычки ЗПБ16-37 в ценах 2013 года приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Калькуляция сводных затрат на изготовление перемычек (в ценах 2013 г).

Показатели	Ед.изм.	Кол.	Цена	Сумма, руб/шт
Арматура класса А-III ($\varnothing=6$ мм)	т	0,00038 / 0	37996,99 / 0	14,44 / 0
Арматура класса А-III ($\varnothing=14$ мм)	кг	1,84 / 1,84	37,99 / 37,99	69,91 / 69,91
Электроды	т	0,0005 / 0	88531,95 / 0	44,28 / 0
Фибра $\mu_n=0,8\%$	т	0 / 0,00256	0 / 38441,45	0 / 98,40
Бетон В15	м³	0,041 / 0	2480 / 0	101,68 / 0
Бетон В30	м³	0 / 0,041	0 / 3100	0 / 127,0
Транспортно-заготовительные расходы	руб.			265,06 / 197,06
Фонд оплаты труда	руб.			149,74 / 119,79
Отчисления на соц. нужды 36% от ФОТ	руб.			53,91 / 43,12
Итого	руб.			698,98 / 637,28
Накладные расходы 133% от ФОТ	руб.			199,15 / 159,32
Итого	руб.			898,17 / 796,6
Плановые накопления 95% от ФОТ	руб.			142,25 / 113,80
Всего	руб.			1040,38 / 910,4
Экономия на одну перемычку	руб.			129,98

Примечание: стандартная железобетонная перемычка / сталефибробетонная

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании анализа литературных источников, проектно-конструкторской и технологической документации, регламентирующих основные аспекты производства и применения таких массовых малоформатных изгибаемых железобетонных изделий и конструкций как перемычки жилых и общественных зданий, были выявлены причины, оказывающие влияние на повышенную материалоемкость и, особенно, трудоемкость их изготовления, связанные большей частью с необходимостью изготовления арматурных каркасов и установкой поперечной и конструктивной арматуры. Радикальным способом решения данной проблемы является изготовление конструктивных элементов подобного типа на основе фибробетонов, получаемых с использованием стальной и высококомодульной неметаллической фибры.

2. Разработаны научно-методологические основы рационального применения дисперсно-армированных бетонов в малоформатных изгибаемых элементах, учитывающие особенности их напряженно-деформированного состояния и технологии производства.

3. Доказано, что использование дисперсного армирования в изгибаемых элементах с малыми размерами поперечного сечения при относительно большой длине, какими являются перемычки различных типов, позволяет существенно (на 20 - 40%) повысить расчетное сопротивление фибробетона на растяжение за счет улучшения пространственного распределения фибр в поперечном сечении элемента от хаотического распределения, до ориентированного преимущественно в продольном направлении.

4. Проведенные теоретические расчеты с использованием действующих отечественных и зарубежных нормативов по проектированию и расчету фибробетонных конструкций позволили установить характер изменения и закономерности влияния физико-механических и геометрических характеристик фибры, прочности бетона-матрицы, стержневой и дисперсной арматуры на величину суммарной материалоемкости для различных марок перемычек. Выполненные конструктивные расчеты всех типов выпускаемых перемычек, в зависимости от класса бетона и арматуры (в том числе повышенной прочности А500С, А600С), вида используемой фибры и объемного процента дисперсного армирования, доказали, что использование фибробетона в наиболее нагруженных перемычках (марок 4ПБ и 5ПБ) позволяет существенно уменьшить размеры их поперечных сечений (на 25-52%, с 290х120 и 250х220 мм до единого типоразмера 220х120 мм) .

5. Разработаны аналитические зависимости и расчетные модели, позволяющие связать несущую способность, трещиностойкость и деформативность фибробетонных перемычек с последовательным изменением их напряженно-деформированного состояния, прочностными и упруго-деформативными характеристиками бетона-матрицы, дисперсной арматуры и ее количественным содержанием.

6. Исследовано напряженно-деформированное состояние перемычек со стандартным и дисперсным армированием с использованием современного программного комплекса ANSYS 14.0, которое позволило выявить количественное соотношение вклада дисперсного армирования в улучшение их технических показателей, и создан алгоритм автоматизированного расчета сталефибробетонных перемычек различных типов на действующие монтажные и эксплуатационные нагрузки.

7. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования сравнительной несущей способности деформативности и трещиностойкости стандартных железобетонных и экспериментальных сталефибробетонных перемычек выявили их повышенную жесткость (на 20-40%) и трещиностойкость ($a_{кр} < 0,1$ мм).

8. Разработано и запатентовано принципиально новое конструктивное решение перемычек зданий и сооружений на основе фибробетона с полным отказом от типового поперечного и конструктивного армирования.

9. Проведена опытно-промышленная апробация разработанной технологии изготовления перемычек жилых и общественных зданий на основе сталефибробетона и

102
выявлены технологические особенности изготовления сталефибробетонных перемычек в условиях действующего производства на заводе железобетонных изделий.

10. Произведена технико-экономическая оценка эффективности производства и применения фибробетонных перемычек в части снижения их материалоемкости, а также трудоемкости изготовления за счет исключения из производственного процесса технологических переделов по изготовлению и сварке арматурных каркасов.

Основное содержание диссертации опубликовано в 10 научных трудах, из которых № 2, 3, 6 и 10 включены в перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий для обязательной публикации материалов докторских и кандидатских диссертаций в соответствии с требованиями ВАК Министерства образования и науки РФ.

1. Аминов Ш.Х. Применение сталефибробетона в производстве сборных изделий и конструкций различного назначения. / Аминов Ш.Х., Бабков В.В., Струговец И.Б., Недосеко И.В., Ивлев В.А., Дистанов Р.Ш., Ивлев М.А. // Строительный вестник российской инженерной академии. М.: – 2009, Вып. 10. -С.201-204.

2. Бабков В.В. Сталефибробетон в производстве изделий и конструкций дорожного назначения. / В.В. Бабков, И.В. Недосеко, Р.Ш. Дистанов, М.А. Ивлев, Ю.Д. Федотов, И.Б. Струговец, М.М. Латыпов // Строительные материалы. – 2010. №10. - С.40-45.

3. Ивлев М.А. Сталефибробетон в производстве перемычек жилых и гражданских зданий / Ивлев М.А., Струговец И.Б., Недосеко И.В. // Известия КГАСУ. – 2010. №2(14). –С.223-228.

4. Ивлев М.А. Сталефибробетонные перемычки жилых и гражданских зданий./ Ивлев М.А., Недосеко И.В. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Магнитогорск. МГТУ им. Г.И.Носова, 2011. -С.244-248.

5. Бабков В.В. Сталефибробетон в производстве изделий и конструкций различного назначения / Бабков В.В., Недосеко И.В., Ивлев М.А., Дистанов Р.Ш., Федотов Ю.Д. // Материалы международной научно-технической конференции «Проблемы прочности и долговечности бетона и железобетона». Уфа. УГНТУ, 2011, -С.120-131.

6. Ивлев М.А. Сравнительная оценка несущей способности, трещиностойкости и деформативности перемычек со стандартным и дисперсным армированием./ Ивлев М.А., Струговец И.Б., Недосеко И.В.// Известия КГАСУ. – 2012. №4(22). –С.117-123.

7. Ивлев М.А. Сталефибробетон в производстве малоформатных изгибаемых элементов. / Ивлев М.А., Недосеко И.В. // Вестник СГАСУ. – 2012. №4. –С.56-64.

8. Недосеко И.В. Несущая способность, деформативность и трещиностойкость сталефибробетонных перемычек с комбинированным армированием. / Недосеко И.В., Ивлев М.А. //Строительные материалы и изделия. Межвузовский сборник научных трудов. Магнитогорск. МГТУ им. Г.И.Носова, 2013. -С.69-75.

9. Технические условия на опытную партию: «Перемычки сталефибробетонные для зданий с кирпичными стенами». / Ивлев М.А., Недосеко И.В.//, УГНТУ, 2013, 12с.

10. Пат. №127101 Российская федерация, МПК Е04С 3/20. Железобетонная перемычка / Ивлев М.А., Недосеко И.В., Струговец И.Б.; Заявитель и патентообладатель Ивлев М.А.. -№2012136631/03; заявл. 27.08.2012; опубл. 20.04.2013, Бюл.№11.

Подписано в печать «21» ноября 2013г.
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Тираж 100 экз.

Формат 60х84 1/16
Усл. печ. л. 1.0
Заказ №237