На правах рукописи

СТУРОВА Виктория Андреевна

СТАЛЕФИБРОБЕТОН С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ МЕСТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Специальность 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Липецкий государственный технический университет» и в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор **Бондарев Борис Александрович**
Официальные оппоненты:	**Кочетков Андрей Викторович**, доктор технических наук, профессор, главный специалист отдела координации научных исследований Федерального автономного учреждения «РОСДОРНИИ», профессор кафедры «Мосты, тоннели и строительные конструкции» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
	Коротких Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, первый заместитель руководителя ЦФО «Наука и технологии» АО «Институт «Оргэнергострой», профессор кафедры «Строительное материаловедение» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Защита состоится «16» ___мая___ 2025 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.282.06, созданного на базе ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ауд. Б-203.

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-библиотечном центре ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» и на официальном сайте https://www.vstu.ru.

Автореферат разослан «___» __марта__ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Акчурин Т.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Сегодня вектор исследований в области материаловедения направлен на поиск новых путей решения увеличения долговечности и работоспособности строительных конструкций. Добиться этого можно путем создания новых материалов с заданными физико-механическими и деформативными характеристиками. На замену традиционным, постоянно используемым материалам, приходят совершенно новые композиционные материалы.

Композиты могут широко применяться во всех отраслях строительства, как при строительстве жилых и промышленных объектов, так и при строительстве элементов конструкций транспортных сооружений, вытесняя традиционные материалы. Важное значение в российских экономических и климатических условиях имеет логистика, стоимость доставки и технико-экономическое обоснование применения материала.

При изготовлении элементов конструкций транспортных сооружений в настоящее время все большее применение находят комбинированные материалы, усиленные либо волокнами (фибробетон), либо диспергированные твердыми частицами, что открывает перспективные пути их применения.

В данной работе рассмотрен один из таких композиционных материалов – фибробетон. Так как, его применение уже и так широко известно, поэтому предлагается заменить в его составе традиционные компоненты на отходы промышленного производства и проверить целесообразность и возможность его внедрения.

В качестве отходов промышленного производства приняты пористые материалы на основе литого шлакового щебня (ЛШЩ) металлургического предприятия ПАО «НЛМК». После дробления ЛШЩ остаются вторичные дополнительные отходы в виде шлакового песка.

Так как, потребность в качественном мелком заполнителе с каждым годом возрастает, то естественно, что в промышленных районах можно осуществить замену природного кварцевого (горного) песка на песок из попутных продуктов и отходов, в частности из доменных шлаков металлургической промышленности, запасы которого в отвалах исчисляются сотнями миллионов тонн.

С экономической точки зрения использование в качестве бетонной матрицы мелкозернистого шлакобетона (МЗШБ), усиленного металлическими волокнами (фибрами), получаемыми из отходов производства (металлическая фибра – из листа, проволоки, отработавших свой ресурс тросов и канатов и т.д.) приводит к созданию конкурентоспособного материала в сравнении с традиционным бетоном – сталефиброшлакобетона (СФШБ).

Благодаря наличию фибры в составе конструкции, она лучше воспринимает воздействие динамических нагрузок, в условиях которых работают элементы конструкций транспортных сооружений. Введение в сталефибробетон смеси отходов местных производств, таких как доменный шлак и отходы от его дробления, взамен кварцевого песка, позволят снизить стоимость

готового изделия, сохранив при этом все эксплуатационные характеристики.

Об актуальности работы свидетельствует выполнение ее в соответствии с государственными программами:

1. «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года».
2. «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

Степень разработанности темы исследования.

Изучением процессов структурообразования и свойств фибробетонов, а также разработкой составов, в которых фигурирует армирование стальной фиброй занимались многие отечественные и зарубежные ученые: Л.Г. Курбатов, И.А. Лобанов, А.П. Павлов, Ф.Н. Рабинович, В.П. Романов, Г.К. Хайдуков, Д. Н. Коротких, Д. Р. Маилян, В. Пухаренко, Ф. Ц. Янкелович, Н.Н. Черноусов, А.С. Бочарников, В.В. Галкин и др. Все существующие научные труды и исследования, в которых фигурирует армирование стальной фиброй, направлены на предотвращение появлений трещин в конструкциях, а, следовательно, и разрушения.

В настоящее время наметился ряд способов армирования асфальтобетонных покрытий, одним из которых является дисперсное (распределение по всему сечению) армирование различными волокнами. При применения различного вида фибры, также не менее важное значение имеет момент добавления ее в смесь, который влияет на схватываемость смеси и дальнейшую прочность дорожного покрытия.

Научная гипотеза. Высокая плотность упаковки тонкодисперсных частиц обеспечит плотную структуру сталефибробетона, что упростит устройство системы «гидроизоляция-водоотвод» на мостовых сооружениях и появится возможность применения сталефибробетона на основе отходов местных производств в элементах конструкций транспортных сооружений.

Цели работы. Разработка нового научно-технологического решения для области транспортного строительства, а именно, применение мелкозернистого СФШБ на основе отсевов от дробления ЛШЩ в элементах конструкций транспортных сооружений.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- разработка методики определения оптимального зернового состава песка из отсева дробления литого шлакового щебня и исследование влияния крупности шлакового песка и содержания фракции менее 0,14 мм на характеристики МЗШБ - исходной матрицы сталефибробетона;

- определение возможности применения песка из отсевов дробления литого шлакового щебня ПАО «НЛМК» в качестве сырья для производства мелкого заполнителя;

- разработка и развитие теоретических и методологических основ получения фибробетона на основе отходов местных производств с заданным комплексом эксплуатационных свойств;

- исследование совместной работы строительных материалов с разными свойствами и создание, с учетом системных взаимосвязей между всеми

компонентами слоистых, композитных и специальных строительных конструкций с учетом специфических требований;

- изучение соотношения фибровых волокон и заполнителя, для обеспечения необходимой подвижности и достаточной удобоукладываемости фибробетонной смеси;

- определение зависимостей, позволяющих учитывать и регулировать неравномерное распределение фибр по высоте сечений сталефибробетонных конструкций (СФБК) для предотвращения расслоения;

- разработка методики подбора составов и развитие технологии изготовления мелкозернистого фибробетона на основе отходов местных производств с заданными показателями качества;

- подготовка нормативной и технической документации для реализации теоретических и экспериментальных исследований, промышленная апробация.

Научная новизна работы.

Научно обоснованы и экспериментально получены зависимости характеристик шлакобетонной матрицы от крупности шлакового песка и содержания фракции менее 0,14 мм, позволяющие осуществить выбор оптимальной гранулометрии мелкого заполнителя.

Установлены зависимости, позволяющие контролировать соотношения фибровых волокон и заполнителя, для обеспечения необходимой подвижности и удобоукладываемости сталефибробетонной смеси.

Экспериментально доказана и теоретически обоснована эффективность использования сталефибробетона на основе отходов местных производств для элементов конструкций транспортных сооружений.

Теоретическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в определении расчетных характеристик сталефибробетона на основе отходов местных производств, разработке методик проектирования составов мелкозернистых сталефиброшлакобетонов и прогнозировании их свойств при помощи многофакторных зависимостей.

Практическая значимость:

- разработаны рекомендации по определению оптимального зернового состава песков из отсева дробления литого шлакового щебня, позволяющие осуществлять корректировку составов с учетом возможностей принятого вида дробильного оборудования.

- разработана программа для ЭВМ «Подбор состава сталефиброшлакобетона с заданными физико-механическими характеристиками» № 2024662548;

- предложена замена плотного мелкого заполнителя в бетоне-матрице на мелкий пористый заполнитель в виде отсевов от дробления литого доменного шлакового щебня, позволяющая существенно снизить себестоимость элементов конструкций транспортных сооружений из сталефибробетона;

- предложены альтернативные элементы конструкций покрытий жестких дорожных одежд и произведен их расчет с применением исследуемых материалов;

- результаты экспериментальных исследований и теоретические положения, полученные при выполнении диссертационной работы, применяются кафедрой «Строительного материаловедения и дорожных технологий» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

Методология и методы исследования. При выполнении диссертационной работы были применены математико-статистические методы с использованием ЭВМ. Экспериментальные исследования проводились на современной измерительной аппаратуре с использованием стандартных методик.

Степень достоверности работы. Степень достоверности выносимых на защиту результатов работы подтверждается результатами проведенных экспериментальных исследований и апробацией их в реальном времени.

Внедрение результатов.

Внедрение результатов осуществлялось при разработке рабочего проекта на ремонт мостового перехода через реку Птань на км 0+700 автомобильной дороги Плахово – примыкание к автомобильной дороге Авдулово–Воскресенское в Данковском районе Липецкой области. Разработан технологический регламент по технологии производства сталефиброшлакобетона и конструкций из него.

Апробация работы.

Основные результаты работы были доложены на Всероссийском научно-техническом конкурсе молодежи НТТМ-2020, Международных научно-практических конференциях, II – V Всероссийских научных конференциях «Современные проблемы материаловедения» (Липецк, 2021 – 2024 гг.), Всероссийском конкурсе «Инженер года – 2023».

Положения, выносимые на защиту:

- результаты комплексных экспериментальных исследований сталефибробетона на основе отходов местных производств - теоретические и методологические основы получения композита с заданным комплексом эксплуатационных свойств;

- результаты исследования совместной работы стальной фибры в матрице фибробетона с применением отходов местных производств - отсевов дробления литого доменного шлака ПАО «НЛМК»;

- закономерности влияния соотношения фибровых волокон и заполнителя на подвижность и удобоукладываемость фибробетонной смеси;

- закономерности влияния времени виброуплотнения, жесткости и геометрических размеров конструкции и стальных фибровых волокон на распределение их по объему, предотвращение расслоения СФБК;

- результаты технико-экономической оценки эффективности применения мелкозернистого сталефибробетона на основе отходов местных производств в элементах конструкций транспортных сооружений.

Публикации.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 30

печатных работах, из них 2 статьи в зарубежных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus и Web of Science, 13 статей в изданиях, входящих в рекомендованный перечень ВАК, зарегистрированы 2 изобретения и получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад. Автором проведено теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение эффективности использования отходов промышленного производства ПАО «НЛМК» для возможности их применения в элементах конструкций транспортных сооружений с целью повышения долговечности. Осуществлен комплекс лабораторных исследований с последующей обработкой и анализом полученных данных. Принято участие в апробации полученных результатов работы.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 193 страницах и включает: введение, пять глав, заключение, список литературы (из 113 наименований) и 11 приложений, содержит 72 рисунка и 42 таблицы.

Автор выражает благодарность канд. техн. наук, доценту Черноусову Н.Н. за обсуждение результатов, ценные предложения и помощь при выполнении работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы цель и задачи диссертационной работы, обоснована ее актуальность, определена научная новизна полученных результатов и их практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен аналитический обзор и анализ литературных источников, а также описано современное состояние проблемы исследования свойств и расчета дисперсно-армированных строительных конструкций на основе мелкозернистого шлакобетона. Рассмотрена перспектива применения сталефибробетона на основе отходов местных производств для элементов конструкций транспортных сооружений. В результате анализа имеющихся данных, проведения собственных экспериментов и предварительных расчетов теоретически обоснована эффективность использования различной металлической фибры совместно с отходами местных производств. Также было установлено, что влияние разнонаправленности армирования на прочность сталефибробетона при растяжении связано с несовпадением направления фибр и направления внешнего растягивающего усилия. Улучшению прочностных, деформативных и эксплуатационных характеристик бетона способствует дисперсное армирование волокнами различных типоразмеров. Однако, вопросы применения фибробетонов на основе отходов местных производств в элементах конструкций транспортных сооружений к настоящему времени изучены недостаточно, а имеющаяся информация порой свидетельствует о противоречивости получаемых результатов исследований.

Во второй главе приведены методики, оборудование и материалы экспериментальных исследований прочностных характеристик элементов конструкций транспортных сооружений из СФШБ на основе отходов местных

производств. Для проведения испытаний применяли формы стальные размерами: 150х150х150 мм, 100х100х100 мм, 100х100х400 мм, 40х40х160 мм по ГОСТ 22685 – 89, лабораторную виброплощадку типа 435А, весы лабораторные по ГОСТ 24104 – 88, шкаф сушильный по ОСТ 16.0.801.397 –87, стандартный набор сит и др.

Для проведения экспериментальных исследований и обоснования возможности применения промышленных отходов для сталефибробетонных конструкций (СФБК) в качестве бетон-матрицы для СФШБ применялся мелкозернистый бетон на мелком пористом заполнителе (отсев дробления литого шлакового щебня производства ПАО «НЛМК») взамен кварцевого песка.

а)

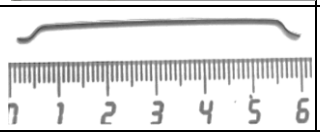
б)

Рисунок 1 – Фрагмент материалов, используемых в качестве заполнителей для СФШБ: а) 5 – 20 мм, мелкофракционный; б) 0 – 5 мм, отсев от дробления

В качестве вяжущего для получения высокопрочного шлакопемзобетона использовался портландцемент марки 500. Испытание цемента производились по ГОСТ 10178 – 85. Тонкость помола используемого цемента находилась в интервале 2500 – 3300 см^2/г. Определение физико-механических свойств цемента производилось по ГОСТ 310.1 – 76, ГОСТ 310.3 – 76, ГОСТ 310.4 – 81.

Технические показатели стальной фибры, используемых в исследованиях, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические показатели стальной фибры

Наименование используемых фибр	Геометрические размеры, мм		Временное сопротивление разрыву, R_f, МПа
	Длина (l)	Диаметр (d)	
- из стальной проволоки (прямая)	97	0,8	690
- из стальной проволоки (волнистая)	70	0,63	680
-фрезерованная из листа	44	0,49	529
Из проволоки канатов и тросов	80	1,0	1200
Фибра Dramix 	60	0,75	1100

Исследование характеристик сырьевых материалов, растворной и бетонной смеси и сталефибробетона проводилось с использованием

общепринятых стандартных методик.

Для оценки неравномерности распределения стальных фибр по сечению элемента (на стадии изготовления и по распилам, изготовленных элементов) и для определения оптимального зернового состава мелкого заполнителя были разработаны собственные методики.

На основании экспериментальных исследований были получены следующие охранные документы:

- патент на изобретение RU 2547348 C1 «Способ экспериментального определения статико-динамических характеристик бетона в условиях циклических нагружений»;

- патент на изобретение RU 2545781 C1 «Способ экспериментального определения статико-динамических характеристик бетона».

В третьей главе приведены экспериментально теоретические исследования свойств сталефибробетона на основе отходов местных производств, экспериментальные исследования свойств конструктивного шлакопемзобетона, определен модуль упругости при сжатии шлакопемзобетона, результаты испытаний по определению влияния крупности шлакового песка на характеристики растворной смеси, экспериментальные исследования плотности упаковки фибры и др.

Результаты определения области оптимальных зерновых составов песков из отсевов дробления литого шлакового щебня производства ПАО «НЛМК» показали достаточную корреляцию с данными, полученными при испытании песков в бетонных смесях (рисунок 2).

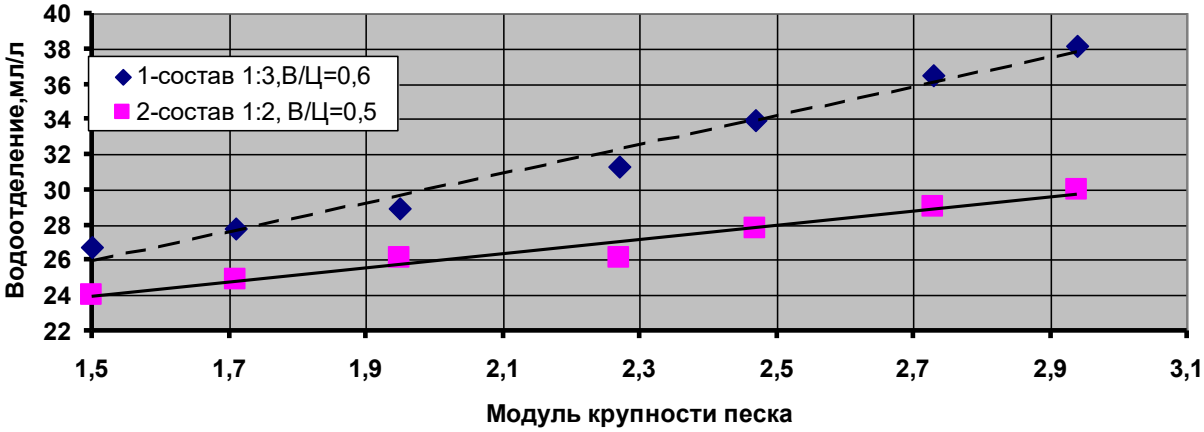


Рисунок 2 – Влияние крупности шлакового песка на водоотделение

Были проведены испытания бетонной смеси для определения ее водопотребности в зависимости от жесткости (рисунок 3).

Результаты проведенных исследований водопротребности фибробетонной смеси в зависимости от жесткости матрицы и относительной длины фибр (l/d) при объемном армировании μ_{fv} =1,0% приведены на рисунке 4.

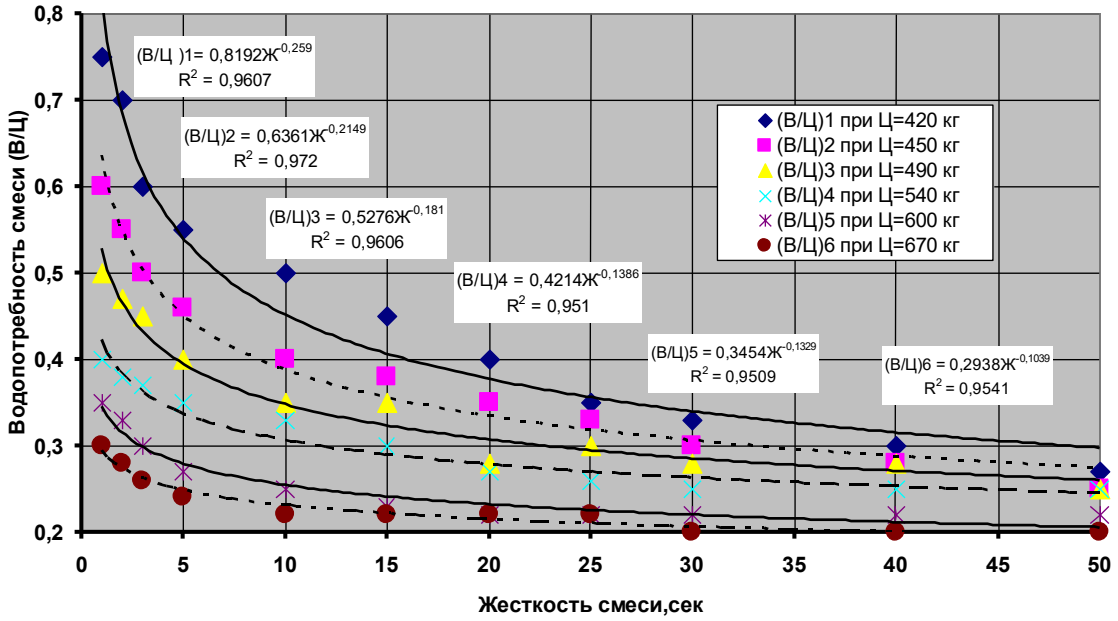


Рисунок 3 – Водопотребность бетонной смеси в зависимости от ее жесткости

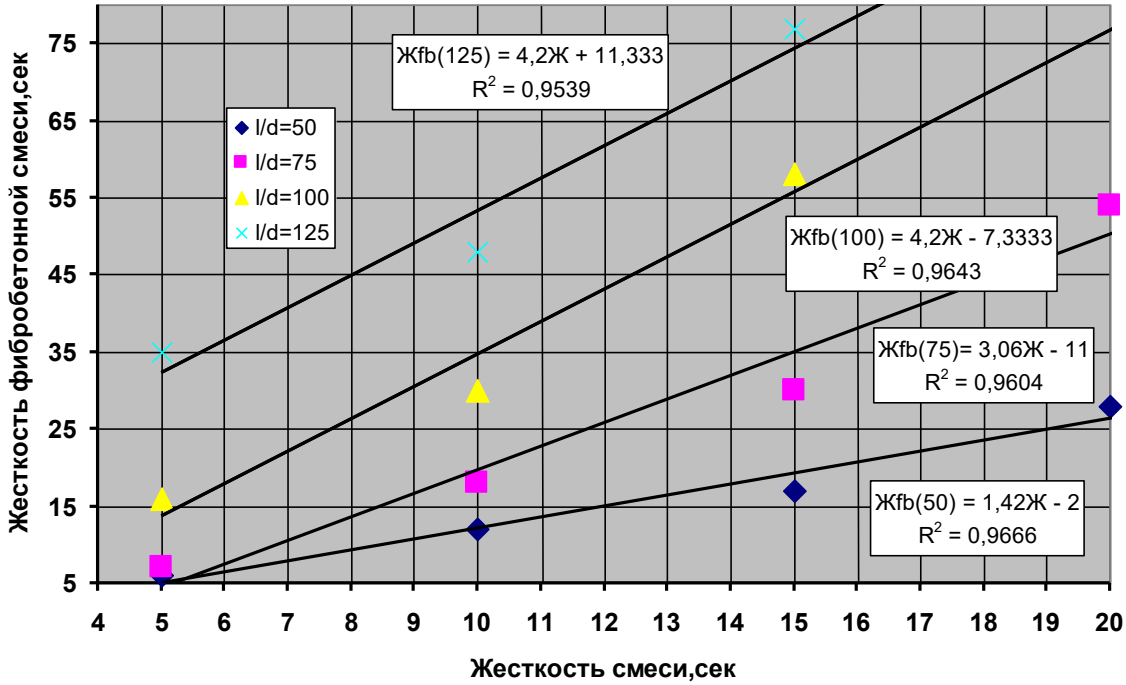
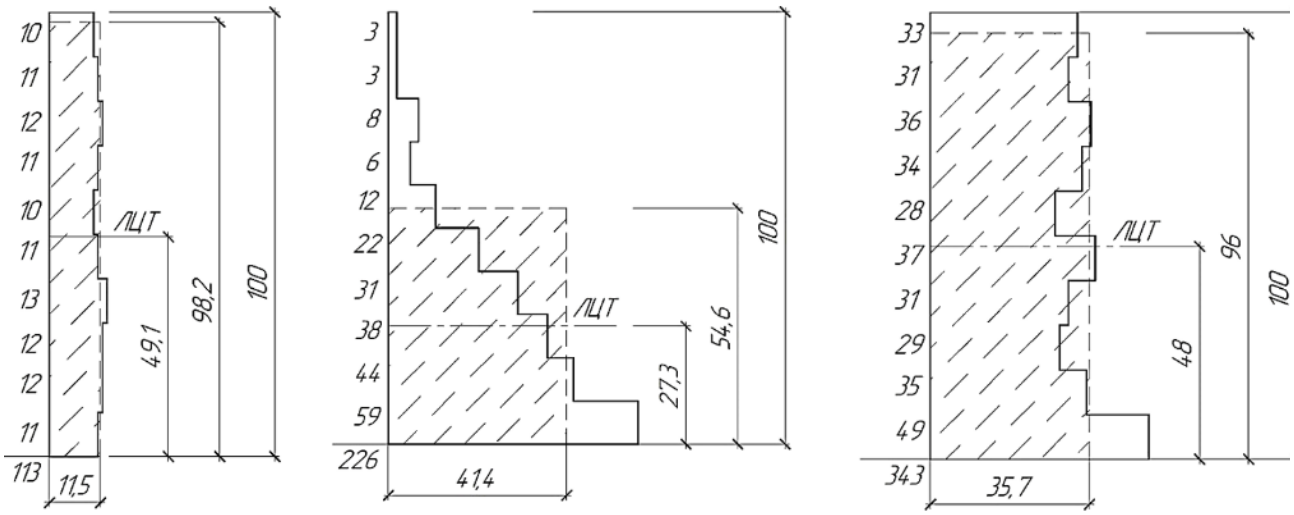


Рисунок 4 – Зависимость жесткости фибробетонной смеси от жесткости бетон-матрицы и относительной длины фибр (*l/d*) при объемном армировании μ_{fv} =1,0%

При обработке результатов испытаний на сжатие, растяжение и изгиб была учтена ориентация фибр в расчетном сечении, как при объемном армировании (трехосная ориентация), так и при послойном армировании (плоскостная ориентация) фибрами.

Распределение фибр Dramix по высоте сечения образцов, определяемое по методике, описанной в главе 2, приведено на рисунке 5.

Результаты изменения призменной прочности СФШБ в зависимости от объемного процента армирования фиброй и ее ориентации на примере использования гладкой фибры приведены на рисунке 6.



ДФ – 1 – 0,75 – 0,5 ДФ – 2 – 0,75 – 1,0 ДФ – 3 – 0,75 – 1,5

Рисунок 5 – Распределение фибры производства Бекарт-dramix

Диаграмма деформирования СФШБ **при сжатии** в зависимости от объемного процента армирования фиброй и ее ориентации на примере использования гладкой фибры приведена на рисунке 7.

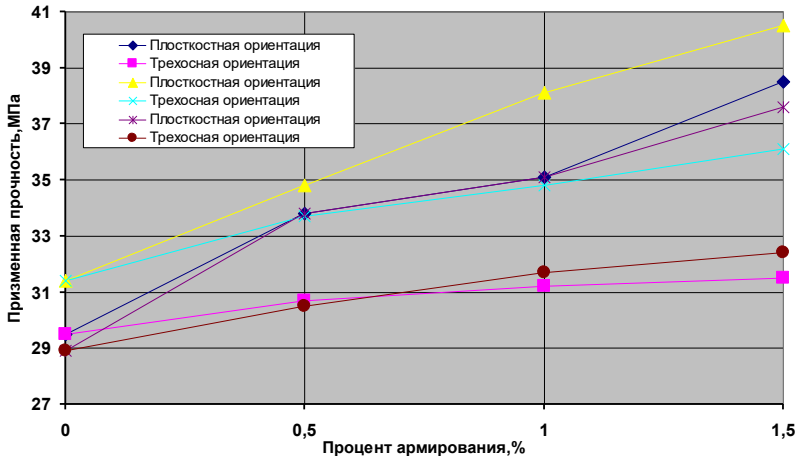


Рисунок 6 – Изменение призменной прочности СФШБ в зависимости от объемного процента армирования фиброй (серия П(г)Ф)

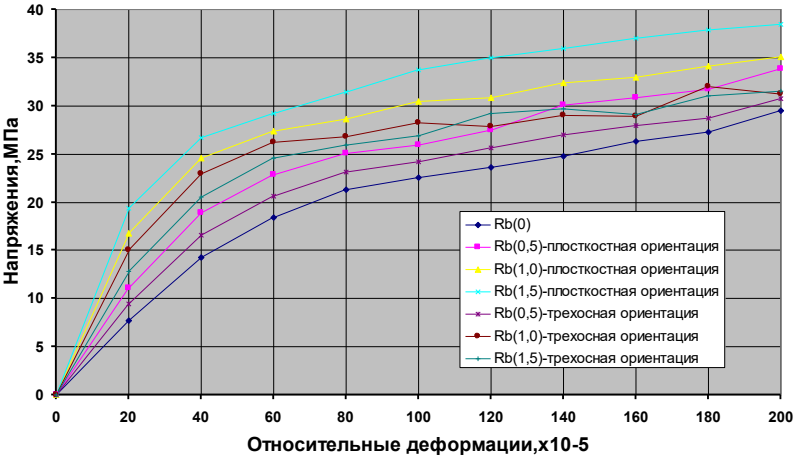


Рисунок 7 – Диаграмма деформирования СФШБ при сжатии (серия П(г)Ф)

Рисунок 8 – Фотоиллюстрации испытаний СФШБ образцов на осевое сжатие

Испытания образцов **на осевое растяжение** проводились по методике, изложенной в главе 2. Изменение прочности СФШБ и характер деформирования при растяжении в зависимости от объемного процента армирования фиброй и ее ориентации на примере использования гладкой фибры приведены на рисунках 9 и 10, при этом предел прочности и деформации определялись на образцах, приведенных на рисунке 11.

Для определения прочности бетона при одноосном растяжении можно применить опытную зависимость для мелкозернистого шлакобетона

$$R_{bt} = 0{,}2\sqrt[3]{R_b^2}. \quad (1)$$

где R_b – призменная прочность бетона, МПа.

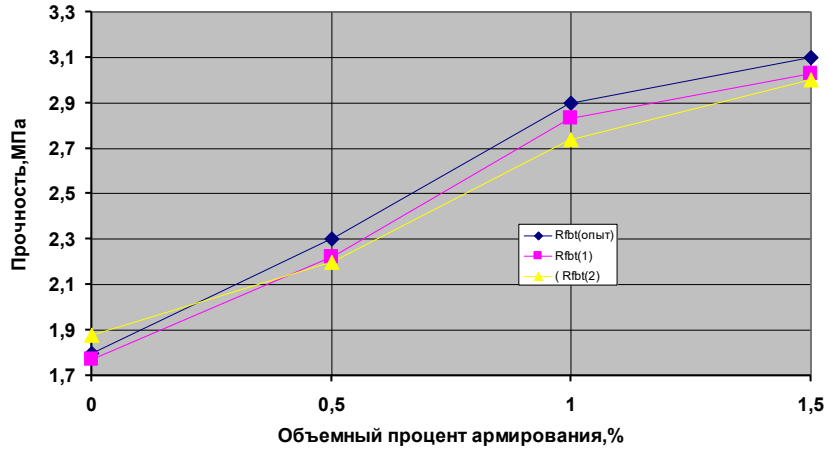


Рисунок 9 – Изменение прочности СФШБ при растяжении в зависимости от объемного процента армирования фиброй (серия П(г)Ф)

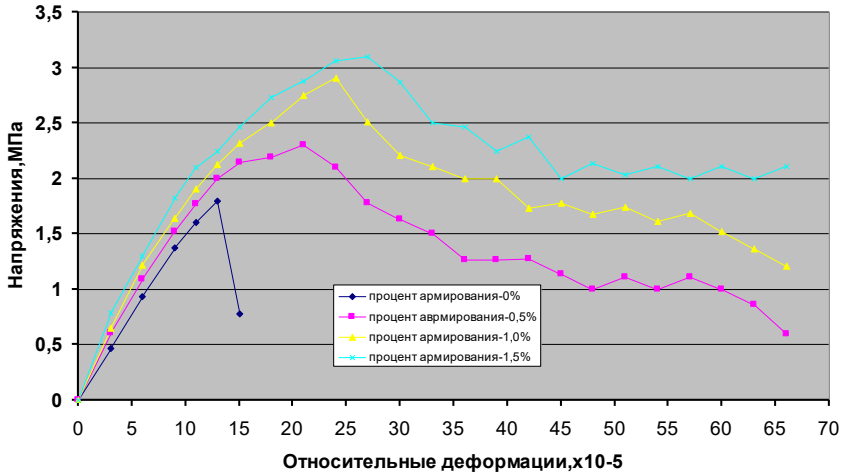


Рисунок 10 – Диаграмма деформирования СФШБ при растяжении (серия П(г)Ф)

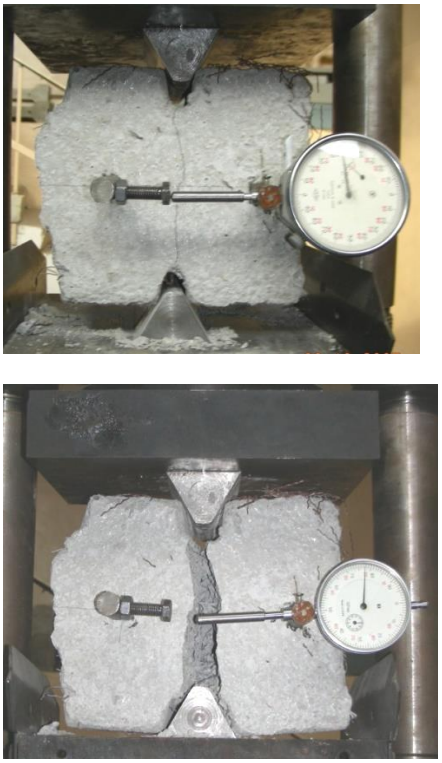


Рисунок 11 – Определение прочностных и деформативных характеристик при растяжении

Исследование анкеровки фибры в бетоне производилось в зажимах экспериментальной установки для определения характеристики сцепления фибры с бетон-матрицей (рисунок 12).

а) б) в)

Рисунок 12 – Закрепление опытных образцов в зажимах экспериментальной установки: а) при испытании фибры на разрыв, б) при испытании прочности анкеровки фибры в шлакобетонном элементе, в) при испытании фиброшлакобетонного образца с несколькими фибрами

Характеристика сцепления для различных видов фибр с бетоном определялась по формуле:

$$\eta_{f,exp} = l_{f,z}\frac{R_b \cdot A_f}{P_f \cdot d_f}, \quad (2)$$

где P_f – усилие вырыва, Н;

A_f – площадь поперечного сечения фибры, мм^2;

$l_{f,z}$ – длина заделки фибр в бетоне, мм.

Исследование степени расслаиваемости фибробетонной смеси производилась на кубах 100х100х100 мм и на балочках размерами 100х100х400 мм. Время уплотнения образцов составляло от 1 до 10 мин. в зависимости от вида и процентного содержания фибровой арматуры. При обработке экспериментальных данных были определены коэффициенты ориентации фибр в зависимости от высоты сечения (рисунок 13).

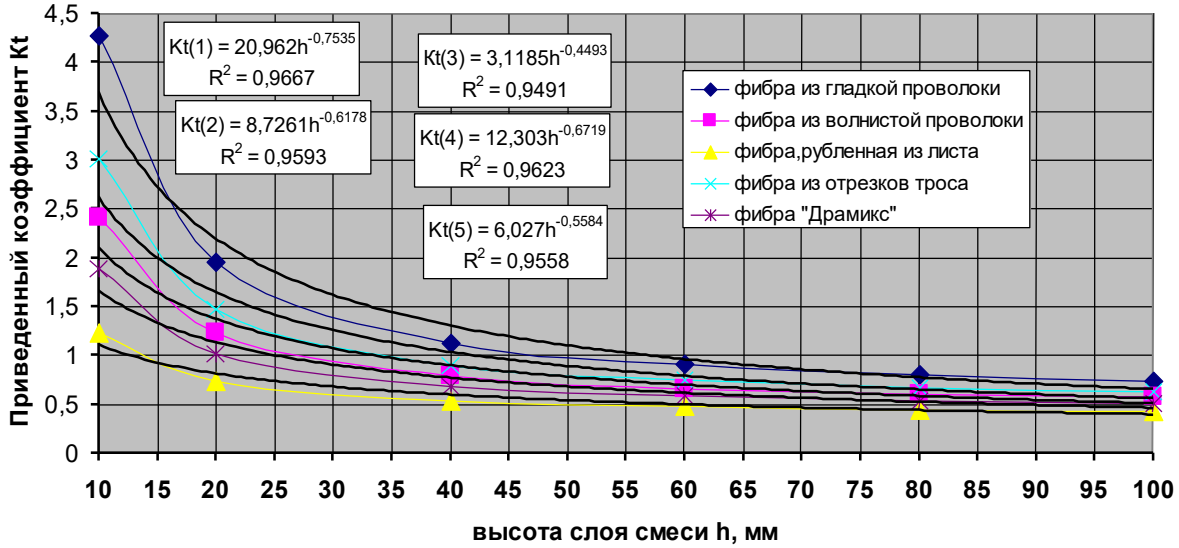


Рисунок 13 – Приведенные коэффициенты ориентации фибр при растяжении в зависимости от высоты сечения при ширине образца 100 мм

Результаты испытаний показали, что при длительном виброуплотнении

происходит опускание стальных фибр в нижнюю часть формы, что, в свою очередь, влияет на прочность, для учета этого явления был выведен коэффициент расслоения k_{st}. Так, при одинаковых параметрах армирования образцы имели различную прочность.

В **четвертой главе** проанализированы результаты исследований влияния характеристик исходных компонентов и технологии изготовления на свойства сталефибробетонной смеси и прочность СФШБ. Разработана методика расчета и подбора состава СФШБ в зависимости от количества, геометрических размеров и форм стальных фибр, которые оказывают значительное влияние на свойства фибробетонной смеси и бетон-матрицы, что значительно помогает упростить подбор состава.

В результате обработки результатов опытов, описанных в главе 3, по определению экспериментальных значений коэффициента расслаиваемости фибр получены зависимости от жесткости смеси бетонной матрицы (*Ж*), диаметра фибр (d_f) и времени вибрирования фибробетонной смеси (t_{exp}).

Коэффициент расслоения можно определять по формуле:

$$k_{st} = -0{,}475 \cdot \ln\left(Ж \Big/ \sqrt{d_f t_{exp}}\right) + 1{,}75. \quad (3)$$

Используя исходные данные (жесткость смеси, диаметр применяемой фибры и степень расслаиваемости фибр) можно прогнозировать расчетное время укладки фибробетона:

$$t = Ж^2 \Big/ d_f \cdot EXP\big((k_{st} - 1{,}75) \cdot 4{,}2\big). \quad (4)$$

Также были определены зависимости водопотребности фибробетонной смеси для различных классов бетона.

На основе анализа экспериментальных данных, приведенных в главе 3, были получены зависимости по определению прочности СФШБ на сжатие (R_{fb}) и растяжение (R_{fbt}):

$$R_{fb} = R_b + k \cdot \sigma_0, \quad (5)$$

где k – коэффициент эффективного бокового обжатия;

σ_0 – величина бокового обжатия бетона, в зависимости от случая разрушения.

Определение прочности СФШБ на растяжение:

- при выдергивании всех фибр

$$R_{fbt(1)} = \frac{K_t \mu_{fv} l_f R_b}{4\eta d_f} + R_b\big(0{,}06 - 4\eta K_t \mu_{fv}\big); \quad (6)$$

- при обрыве части фибр и выдергивании остальных

$$R_{fbt(2)} = K_t \mu_{fv} R_f \left(1 - \frac{l_{f,an}}{l_f}\right) + R_b\big(0{,}06 - 4\eta K_t \mu_{fv}\big). \quad (7)$$

где η – характеристика сцепления, полученная по формуле (2).

Получены зависимости жесткости смеси от объемного содержания фибровой арматуры для различных геометрических размеров.

По результатам методики подбора состава СФШБ была зарегистрирована программа для ЭВМ №2024662548 «Подбор состава сталефиброшлакобетона с заданными физико-механическими характеристиками», визуальное отображение которой приведено на рисунках 14, 15.

Приведена методика корректировки состава сталефиброшлакобетона при изменении качества компонентов.

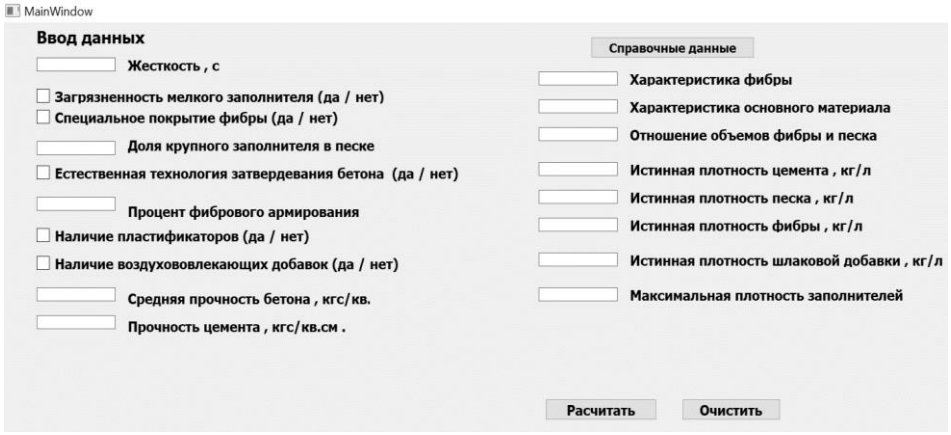


Рисунок 14 – Визуальное отображение программы для подбора состава

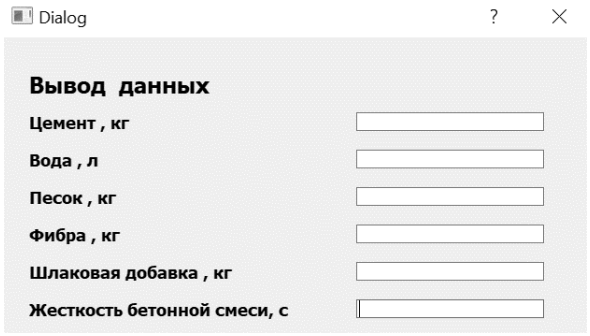


Рисунок 15 – Визуальное отображение программы вывода результатов подбора состава

В пятой главе приведено опытно-промышленное внедрение результатов исследования. Рассмотрена эффективность применения сталефибробетонных конструкций по снижению расходов на проектирование, изготовления, транспорт, возведение и эксплуатацию.

Мостовые сооружения играют немаловажную роль в дорожно-транспортной инфраструктуре – строительство этих сооружений помогает преодолеть как естественные, так и искусственно созданные препятствия, значительно сокращая расстояние и время, потраченное на объездные пути. Конструктивно такие конструкции изготавливаются из железобетона. Изучен опыт применения в элементах конструкций сопряжений (переходных плит) сталефибробетона с применением отходов местных производств различных составов, армированных стальной фиброй Dramix с коэффициентом армирования 0,5 – 1%. Результаты которых описывают возможность применения сталефибробетона на основе отходов местных производств в элементах конструкций транспортных сооружений.

Оценка годовой **экономической эффективности** применения исследуемых материалов в конструкциях переходных плит составила 19265,2 руб. на 1 м^2.

Для масштабного внедрения результатов работы разработан нормативный документ «Технологический регламент по технологии производства сталефиброшлакобетона и конструкций из него».

Предложены рекомендации по изготовлению элементов конструкций транспортных сооружений из сталефибробетона на основе отходов местных производств и два варианта конструкций покрытий жестких дорожных одежд.

Разработана схема создания и практической реализации результатов исследований материалов на основе СФШБ.

ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Получены экспериментальные зависимости характеристик шлакобетонной матрицы от крупности шлакового песка и содержания фракции менее 0,14 мм, позволяющие осуществить выбор оптимальной гранулометрии мелкого заполнителя.

Экспериментально доказана и теоретически обоснована эффективность использования сталефибробетона на основе отходов местных производств для элементов конструкций транспортных сооружений.

Установлены зависимости, позволяющие контролировать соотношения фибровых волокон и заполнителя, для обеспечения необходимой подвижности и удобоукладываемости сталефибробетонной смеси.

Исследована совместная работа строительных материалов с разными свойствами и системная взаимосвязь между всеми компонентами слоистых, композитных и специальных строительных конструкций с учетом специфических требований.

Предложены альтернативные элементы конструкций покрытий жестких дорожных одежд и произведен их расчет с применением исследуемых материалов.

Полученные результаты могут быть **рекомендованы** для использования: в производстве – при утилизации шлаковых отвалов, а также на дорожно-строительных предприятиях для строительства, ремонта и реконструкции автомобильных дорог; в учебном процессе – при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

Перспективы дальнейших исследований.

Целесообразно рассматривать полученные результаты для проектирования опытных образцов аэродромных покрытий, что позволит уточнить исходные положения и рассмотреть задачу оптимизации для массовых конструкций исследуемого типа.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

В зарубежных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus и Web of Science:

1. Chernousov, N. / Simulation of the strain diagram of a slag-concrete element subject to bending [Text] / N. Chernousov, B. Bondarev, **V. Sturova** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 911, III International Scientific and Practical Conference "Advanced Building Materials and Technologies 2020" 26-29 May 2020, Kaliningrad, Russian Federation.

2. Goncharova, M. Modelling the strength and stress-strain behavior of steel fiber reinforced concrete with slag under axial tension and compression considering the age of the concrete matrix [Text] / Margarita Goncharova, Igor Mazur, Nikolai Chernousov, **Victoria Sturova** // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2020. – Vol. 3 (55). P. 632-639.

В журналах, рекомендованных ВАК:

3. Бондарев, Б. А. Исследование прочностных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста [Текст] / Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, Р. Н. Черноусов, **В. А. Стурова** // Строительные материалы. - 2017. - № 5. - С. 20-25.

4. Бондарев, Б. А. Исследование деформативных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста [Текст] / Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, Р. Н. Черноусов, **В. А. Стурова** // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. - 2017. - Т. 8. - № 1. - С. 18-31.

5. Бондарев, Б. А. Экспериментальное исследование характера взаимовлияния стальных фибр, равнонаправленно расположенных параллельно усилию в мелкозернистом шлакобетоне [Текст] / Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, Р. Н. Черноусов, **В. А. Стурова** // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2017. - № 2 (71). - С. 72-82.

6. Бондарев, Б. А. Исследование разрушения дорожных плит из сталефиброшлакобетона при продавливании [Текст] / Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, Р. Н. Черноусов, **В. А. Стурова** // Транспортное строительство. - 2018. - № 7. - С. 10-12.

7. Бондарев, Б. А. Моделирование прочностных и деформационных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом возраста бетона [Текст] / Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, **В. А. Стурова** // Научный журнал строительства и архитектуры. - 2018. - № 2 (50). - С. 56-67.

8. Черноусов, Н. Н. Математическая модель полной диаграммы деформирования шлакобетона при трехточечном изгибе [Текст] / Н. Н. Черноусов, **В. А. Стурова //** Современные наукоемкие технологии. - 2020. - № 3. - С. 92-96.

9. Бондарев, Б. А. Определение параметров деформативности бетонных образцов по формулам механики разрушения [Текст] / Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, **В. А. Стурова** // Construction and Geotechnics. - 2020. - Т. 11. - № 2. - С. 88-98

10. Гончарова, М. А. Способ подбора оптимального состава мелкозернистого сталефиброшлакопемзобетона [Текст] / М. А. Гончарова, Н. Н. Черноусов, **В. А. Стурова**, А. А. Ливенцева // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2021. - № 11 (755). - С. 64-72.

11. Черноусов, Н. Н. Математическое моделирование прочности центрально сжатого тонкостенного сталефибробетонного элемента [Текст] / Н. Н. Черноусов, **В. А. Стурова**, Е. В. Чурсин, А. А. Ливенцева // Современные

наукоемкие технологии. - 2021. - № 2. - С. 81-87.

12. Черноусов, Н. Н. Прогнозирование характера деформирования изгибаемых шлакобетонных элементов [Текст] / Н. Н. Черноусов, Б. А. Бондарев, **В. А. Стурова**, А. Б. Бондарев, А. А. Ливенцева // Строительные материалы. - 2022. - № 3. - С. 15-24.

13. Черноусов, Н. Н. Аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии [Текст] / Н. Н. Черноусов, Б. А. Бондарев, **В. А. Стурова**, А. Б. Бондарев, А. А. Ливенцева // Строительные материалы. – 2022. – № 5. – С. 58-67.

14. **Стурова, В. А.** Сталефибробетон с применением отходов местных производств для транспортных сооружений [Текст] / **В. А. Стурова** // Строительные материалы. - 2023. - № 1-2. - С. 44-49.

15. Акчурин, Т. К. Переходные плиты из сталешлакофибробетона в конструкциях мостовых сооружений [Текст] / Т. К. Акчурин, А. Б. Бондарев, **В. А. Стурова**, А. С. Колобанов, В. К. Жидков, О. В. Бурлаченко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2024. - № 2 (95). - С. 99-108.

В рецензируемых российских изданиях, включенных в базу РИНЦ:

16. Бондарев, Б. А. Сталефибробетон в дорожных покрытиях [Текст] / Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, Р. Н. Черноусов, **В. А. Стурова** // Мир дорог. – 2017. – № 101. – С. 67-68.

17. Бондарев, Б. А. Применение сталефиброшлакобетона в элементах конструкций транспортных сооружений [Текст] / Б. А. Бондарев, **В. А. Стурова**, С. В. Костин // В сборнике: Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве. Материалы международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 14-18.

18. **Стурова, В. А.** Модель выдергивания фибры из композиционной матрицы [Текст] / **В. А. Стурова,** А. А. Ливенцева, Б. А. Бондарев // В книге: "Школа молодых ученых" по проблемам технических наук. Материалы областного профильного семинара, Липецк. - 2020. - С. 183-185.

19. Бондарев, Б. А. Применение композиционных материалов в транспортном строительстве [Текст] / Б. А. Бондарев, **В. А. Стурова,** А. А. Ливенцева // В книге: "Школа молодых ученых" по проблемам технических наук. Материалы областного профильного семинара, Липецк. - 2020. - С. 186-188.

20. **Стурова В. А.**, Свойства стальной фибры Dramix производства компании Бекарт и возможность ее применения в строительстве [Текст] / **В. А. Стурова,** Е. В. Чурсин // В сборнике: Тенденции развития современной науки. сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2 ч. Липецк. - 2021. - С. 331-334.

21. Бондарев, Б. А. Фибробетон: свойства, поведение при растяжении [Текст] / Б. А. Бондарев, **В. А. Стурова,** А. А. Ливенцева // Современные

проблемы материаловедения: Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 65-летию ЛГТУ. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2021. – С. 284-287.

22. Бондарев, Б. А. Применение фибры Dramix производства компании БЕКАРТ в строительстве [Текст] / Б. А. Бондарев, О. В. Касарева, **В. А. Стурова,** А. А. Ливенцева // Современные проблемы материаловедения: Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 65-летию ЛГТУ. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2021. – С. 340-342.

Объекты интеллектуальной собственности:

23. Пат. 2547348 Российская Федерация, МПК G01N 3/32 (2006.01), G01N 33/38 (2006.01). Способ экспериментального определения статико-динамических характеристик бетона в условиях циклических нагружений [Текст] / Черноусов Н. Н., Черноусов Р. Н., Суханов А. В., Прокофьев А. Н., **Ливенцева В. А.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ЛГТУ. - № 2013151500/28 ; заявл. 19.11.2013 ; опубл. 10.04.2015 Бюл. № 10. – 8 с.

24. Пат. 2545781 Российская Федерация, МПК G01N 33/38 (2006.01), G01N 3/00 (2006.01). Способ экспериментального определения статико-динамических характеристик бетона [Текст] / Черноусов Н. Н., Черноусов Р. Н., Суханов А. В., Прокофьев А. Н., **Ливенцева В. А.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ЛГТУ. - № 2013142518/15 ; заявл. 17.09.2013; опубл. 10.04.2015 Бюл. № 10. – 8 с.

25. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021664189 Российская Федерация. Автоматизированный расчет геометрических характеристик нормальных сечений изгибаемых комбинированно армированных композитов при деградационных процессах / Черноусов Н. Н., **Стурова В. А.**, Ливенцева А. А. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ЛГТУ. - № 2021663370 ; заявл. 25.08.2021; опубл. 01.09.2021 Бюл. № 9.

26. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2024662548 Российская Федерация. Подбор состава сталефиброшлакобетона с заданными физико-механическими характеристиками / **Стурова В. А.**, Ливенцева А. А. ; заявитель и правообладатель Стурова В. А. - № 2024618839 ; заявл. 23.04.2024; опубл. 29.05.2024 Бюл. № 6.

СТУРОВА Виктория Андреевна

СТАЛЕФИБРОБЕТОН С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ МЕСТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Специальность 2.1.5. Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 06.03.2025 г. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л.1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 21

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Издательство ВолгГТУ
400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, В-210
Типография ИАиС ВолгГТУ
400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1