

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого» (СПбПУ)

Ю.В.Фомин

2024 г.

ОТЗЫВ

**ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
на диссертационную работу Голишевской Дарьи Александровны
«Напряженно-деформированное состояние неоднородно армированных сталефибробетонных элементов и методика их расчета»,
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения**

Актуальность темы выполненной работы

В настоящее время одной из основных задач развития строительной индустрии является повышение прочности и надежности строительных конструкций. Одним из направлений повышения прочности и надежности бетонов является применение дисперсного армирования. Стоит отметить, что наибольший интерес представляют дисперсно-армированные бетоны на основе стального волокна. Несмотря на то, что в настоящее время появляется все больше работ отечественных и зарубежных ученых, посвященных оценке физико-механических характеристик сталефибробетона и методике их расчета, имеет место недостаточная изученность неоднородно армированных сталефибробетонных элементов.

В связи с этим, исследование автором напряженно-деформированного состояния сталефибробетонных конструкций с неоднородным дисперсным армированием и разработка методики расчета сталефибробетонных элементов с учетом неоднородного армирования является актуальной задачей.

Общая характеристика, структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (171 источник) и приложений. Работа изложена на 175 страницах, содержит 67 рисунков, 26 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования; формулируются научная гипотеза, цель и основные задачи работы; описываются методология и методы исследования; характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация.

В первой главе приводится анализ работ, посвященных рассмотрению различных видов дисперсных волокон, применяемых для армирования строительных конструкций. Приведены сравнительные характеристики физико-механических характеристик материалов, которые используются для изготовления волокна. Выполнен анализ и систематизация результатов исследований конструкций из дисперсно-армированных бетонов, на основании которого автором сделан вывод о необходимости более подробного изучения напряженно-деформированного состояния неоднородно армированных сталефибробетонных элементов.

Во второй главе рассмотрены существующие методики расчета прочности бетонных конструкций с дисперсным армированием, применяемые в России и за рубежом. На основе проведенного анализа сделан вывод о целесообразности использования полиномиальных функций общего вида для описания аналитических зависимостей между напряжениями и деформациями сжатого сталефибробетона с различным процентом армирования.

В третьей главе автор приводит описание методики и результатов экспериментов, нацеленных на исследование физико-механических характеристик сталефибробетона. Проведенные автором эксперименты включали в себя испытания образцов-кубов и балок с однородным и неоднородным по объему (зональным) дисперсным армированием при статическом нагружении, при этом учитывалась разгрузка указанных образцов из области неупругих деформаций. В качестве дисперсного армирования применялась стальная фибра анкерного и волнового типа. Объемное содержание стального волокна в образцах составляло от 0,5 до 2,0%. Для получения действительных диаграмм деформирования сталефибробетона в процессе испытаний на сжатие и изгиб в реальном времени синхронно с нагрузкой регистрировались продольные и поперечные деформации образцов. На основе полученных экспериментальных данных были построены диаграммы $\sigma - \epsilon$ для сталефибробетона с учетом типа армирующих волокон и их процентного содержания, а также определены прочностные и деформационные характеристики сталефибробетона. Проведенные испытания неоднородно (зонально) армированной балки с применением стального волокна анкерного типа подтвердило предположение автора о рациональности увеличения процентного содержания армирующих волокон в более напряженных участках конструкции.

В четвертой главе диссертации приводятся предпосылки нелинейного расчета неоднородно армированных сталефибробетонных элементов. Разработан конечный элемент балки многослойного армирования, который позволяет учитывать неоднородность армирования по высоте сечения элемента. Выполнена верификация разработанного конечного элемента путем решения ряда тестовых задач, а также сравнения с результатами, полученными с использованием других программных комплексов. Значения прогибов и нормальных напряжений в сечениях неоднородно армированной балки, полученные в ходе проведенных

автором экспериментов, сопоставлялись с результатами расчета указанной балки с использованием разработанного конечного элемента и данными, полученными при расчете аналогичной конструкции в программе Ansys.

Заключение диссертации обоснованно следует из содержания диссертации, полностью отражают результаты исследования, соответствует поставленным целям и задачам.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в получении новых данных о напряженно-деформированном состоянии сжатых и изгибаемых сталефибробетонных элементов с различным процентом фибрового армирования, учетом нелинейной работы и влияния пластических деформаций.

Можно отметить следующие основные результаты, обладающие научной новизной:

- на основании проведенных автором экспериментов получен закон деформирования сталефибробетона, описываемый полиномиальной функцией четвертой степени с постоянными коэффициентами, которые определяют вид кривой $\sigma(\varepsilon)$ в зависимости от процентного содержания стальной фибры в составе бетонной матрицы. При проведении экспериментов автором использовалась специально разработанная методика экспериментального определения физико-механических характеристик сталефибробетона на основе тензометрии;
- сформулированы предпосылки теории расчета неоднородно армированных сталефибробетонных элементов, на основании которых разработана методика численного расчета и построен конечный элемент неоднородно армированной балки.

Степень достоверности результатов исследования

Обоснованность научных положений, предложенных автором, обеспечена корректным использованием общепринятых положений теории железобетона, методов строительной механики, механики деформируемого твердого тела и предпосылок расчета, установленных на основе обширного анализа теоретических и экспериментальных исследований сталефибробетонных элементов. Верификация результатов расчета с использованием разработанного конечного элемента проведена на основе экспериментальных данных, полученных автором, и путем сравнения с результатами физически нелинейного расчета в иностранном программном комплексе Ansys на основе трёхмерной модели бетона с использованием критерия прочности Виллама и Варнке. Точность разработанного конечного элемента подтверждается сходимостью результатов расчета с экспериментальными данными и результатами, полученными в программе Ansys.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в получении научно-обоснованных выводов и результатов, аналитических зависимостей (функций) для построения действительных диаграмм деформирования сталефибробетона, применяемых при расчетах на прочность и деформативность,

которые использовались при разработке методики нелинейного расчета неоднородно армированных сталефибробетонных элементов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Материалы диссертации могут быть использованы при дальнейшей работе, направленной на совершенствование методов расчета прочности, трещиностойкости и жесткости сжатых и изгибаемых фибробетонных элементов с различными вариантами формы их поперечного сечения, а также параметров и видов дисперсного армирования. Предложенная методика экспериментального определения физико-механических характеристик сталефибробетона может быть использована при лабораторных испытаниях строительных конструкций.

Разработанный конечный элемент балки многослойного армирования может быть применен для расчета фибробетонных конструкций сотрудниками научных и проектных организаций.

Полученные в работе результаты экспериментальных исследований могут использоваться при проведении верификации новых математических и компьютерных моделей конструкций подобного типа.

Соответствие работы паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения: п. 2 «Разработка физических и численных методов экспериментальных исследований конструктивных систем, несущих и ограждающих конструкций, конструктивных свойств материалов»; п. 3 «Развитие теории и методов оценки напряжённого состояния, живучести, риска, надёжности, остаточного ресурса и сроков службы строительных конструкций, зданий и сооружений, в том числе при чрезвычайных ситуациях, особых и запроектных воздействиях, обоснование критериев приемлемого уровня безопасности».

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат дает достаточно полное представление о выполненном автором исследовании, хорошо структурирован, и снабжен достаточным количеством иллюстраций. Автореферат в достаточной степени отражает основные положения диссертации.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Материалы диссертации изложены в 6 научных публикациях, из которых 2 в журналах, входящих в Перечень ВАК/РУДН и 4 статьи в изданиях, представленных в базах данных Scopus и WoS. Результаты работы докладывались и обсуждались на 4 конференциях.

Личный вклад соискателя в получении результатов исследования

Анализ диссертации, автореферата и основных публикаций автора подтверждает личный вклад соискателя в получении выносимых на защиту результатов исследования. В частности, автором получены новые данные о физико-механических характеристиках сжатых и изгибаемых сталефибробетонных элементов с различным процентом фибрового волокна в составе бетона,

сформулированы предпосылки нелинейного расчета неоднородно армированных сталефибробетонных элементов, на основании которых построен конечный элемент для расчета неоднородно армированной балки.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертации, хорошо структурирован и снабжен достаточным количеством иллюстраций.

Замечания по работе:

1. В первой главе диссертации излишнее внимание уделяется рассмотрению бетонов, армированных неметаллической фиброй, а именно базальтовой, что в последующих главах работы никак не используется.
2. В третьей главе приводятся экспериментальные исследования по определению прочности и деформационных характеристик сталефибробетона при сжатии образцов-кубов с размером стороны 100 мм. Однако, с целью исключить влияние опорных торцов образца на результаты испытания, принято (и предписано ГОСТ 24452–80) определять призмную прочность бетона, модуль упругости и коэффициент Пуассона на образцах-призмах квадратного сечения с отношением высоты к ширине, равным 4.
3. Отсутствуют указания по использованию предложенного закона деформирования сталефибробетона, описываемого полиномиальной функцией с постоянными коэффициентами, для промежуточных значений содержания стального волокна в бетоне. Например, 0,75 %, 1,25 % и т. д.
4. При верификации разработанного конечного элемента автором выполнялись расчеты многослойных армированных балок только прямоугольного сечения. Очевидно, что для получения полных данных о точности конечного элемента этого недостаточно. В связи с этим, рекомендовали бы автору при решении тестовых задач обратить внимание на конструкции более сложного сечения, например, тавровые, двутавровые, коробчатые и т. д.
5. На наш взгляд, судить о точности разработанного стержневого конечного элемента путем сравнения с результатами расчета балки, построенной в программе Ansys на основе объемной модели деформирования бетона, не вполне корректно. При сравнении результатов расчета следовало бы использовать одинаковые расчетные схемы конструкций.

Указанные замечания не снижают качества работы, в целом, выполненной на высоком научном и техническом уровне.

Заключение

Диссертационное исследование Голишевой Дарьи Александровны «Напряженно-деформированное состояние неоднородно армированных сталефибробетонных элементов и методика их расчета» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи в области исследования физико-механических характеристик дисперсно-армированных бетонов на основе стального волокна, в том числе, разработаны предпосылки расчета неоднородно (зонально) армированных элементов методом

конечных элементов, имеющей важное значение для разработки рациональных типов конструкций из дисперсно-армированных бетонов. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, согласно п. 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного Ученым советом РУДН протокол № УС-12 от 03.07.2023 г., а её автор, Голишевская Дарья Александровна, заслуживает присуждения ученой степени технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником лаборатории самовосстанавливающихся конструкционных материалов, доктором технических наук Барабанщиковым Юрием Германовичем. Отзыв обсужден и утвержден на заседании семинара Научно-технологического комплекса "Цифровой инжиниринг в гражданском строительстве" Научного центра мирового уровня "Передовые цифровые технологии" 31.01.2024, протокол № 1.

Ведущий научный сотрудник,
доктор технических наук (шифр 2.5.3)
Барабанщиков Юрий Германович



Название организации:	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ)
Почтовый адрес:	195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29
Телефон:	+7 (812) 552-64-17
Электронная почта:	nmukhanova@spbstu.ru

