

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

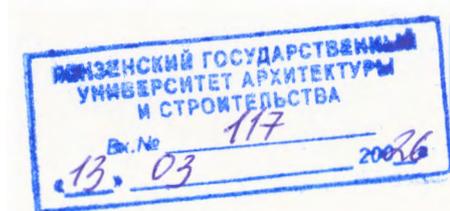
доктора технических наук, доцента Мурашкина Василия Геннадьевича на диссертацию Грязнова Сергея Юрьевича «Разработка методики оценки остаточного ресурса армированных бетонных балок, подверженных воздействию жидких агрессивных сред», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)

### Актуальность избранной темы диссертации

Подход к оценке технического состояния железобетонных конструкций, а особенно конструкций, армированных композитной и другими современными видами арматуры, позволяет построить прогноз изменения характеристик материала – является актуальным вопросом. В настоящее время накопилось огромное количество сооружений, требующих к себе внимание, с точки зрения определения их остаточного ресурса. Поэтому методика на основе фрактального анализа, разработанная в данной работе и позволяющая описать процесс деградации материала, а также оценить изменение деформационно-прочностных характеристик под воздействием агрессивных сред является безусловно актуальной. Экспериментальные исследования, проводимые в данной работе, проводились с использованием конструкций армированных современным, но еще недостаточно изученным с точки зрения длительной эксплуатации, материалом – стеклокомпозитной арматурой, что дополнительно подчеркивает актуальность работы.

### Оценка структуры, объема и содержания работы

Диссертационная работа включает введение, четыре главы основного текста, заключение, список использованной литературы, насчитывающий 234 наименования, и 3 приложения. Общий объем работы составляет 187 страниц машинописного текста. Текстовый материал сопровождается 20 таблицами и 59 рисунками.



**Введение** содержит обоснование актуальности темы, анализ степени ее изученности, формулировку цели, задач, объекта и предмета исследования, описание научной новизны, теоретической и практической значимости, а также положений, выносимых на защиту.

**В первой главе** представлен анализ современного состояния проблемы надежности, долговечности и оценки ресурса железобетонных конструкций в агрессивных средах. Подробно рассмотрены классические физико-химические, вероятностные и механохимические подходы оценки ресурса материала и конструкций. Автором обоснована перспективность применения фрактального анализа для описания эволюции структурной неоднородности бетона.

**Вторая глава** посвящена описанию экспериментальной части работы.

Ее основу составил комплекс лабораторных испытаний, направленный на моделирование деградации бетона в агрессивных средах. Проведены испытания на изгиб балок со стеклокомпозитной арматурой, экспонированных в 20%-м растворе NaCl, а также серии испытаний на одноосное сжатие контрольных и экспонированных образцов в различных средах (водопроводная и дистиллированная вода, раствор серной кислоты). В результате сформирован обширный массив высокоточных диаграмм « $\sigma - \epsilon$ », отражающих нелинейное поведение материала.

Для последующего использования этих данных в расчетных моделях была решена задача их аналитического описания. Разработан и реализован в виде зарегистрированной программы для ЭВМ метод приведения экспериментальных диаграмм к нормативному виду. Его ключевым элементом является введение локальной системы координат путем построения касательной в точке перегиба, что позволяет корректно определить начальный модуль деформации.

Для аналитической аппроксимации диаграмм предложена функция в виде модифицированного полинома пятой степени.

**В третьей главе** решена задача разработки методов анализа диаграмм деформирования на основе фрактальной геометрии. Автором адаптирован метод покрытия сеткой (ВСМ) для определения фрактальной размерности ( $D$ ) экспериментальных кривых. Для устранения погрешности, обусловленной дискретностью данных на малых масштабах, предложен пошаговый алгоритм коррекции. Алгоритм исключает начальные масштабные уровни, что позволяет получать скорректированное значение размерности с максимальным коэффициентом детерминации.

Для анализа неоднородности процесса деформирования применен мультифрактальный подход. Автором выполнен анализ путем фрагментации полной диаграммы на последовательные участки с определением локальной фрактальной размерности ( $D_{b,f}$ ) для каждого фрагмента. Установлена корреляция между величиной  $D_{b,f}$  и стадией деформации: значения близки к 1 на участке уплотнения и возрастают до 1,5-1,7 на стадии разрушения.

На основе спектра локальных размерностей предложен количественный показатель ( $H_b$ ), позволяющий оценивать процентное изменение структурной неоднородности бетона под влиянием воздействия агрессивных сред.

**В четвертой главе** были систематизированы полученные результаты и представлена итоговая методика оценки остаточного ресурса. Автором предложена физически обоснованная модель деградации, на основе фрактальной и мультифрактальной деградационных функций. Данные функции формализуют зависимость между изменением фрактальной размерности микроструктуры бетона во времени и соответствующим снижением его несущей способности.

**В заключении** диссертации сформулированы основные выводы и научные результаты, полученные в результате лабораторного эксперимента, фрактального анализа и численного моделирования для решения поставленных задач. Определены перспективы развития темы, связанные с дальнейшей алгоритмизацией и автоматизацией предложенной методики

оценки остаточного ресурса для ее интеграции в практику диагностики и экспертизы строительных конструкций.

Необходимо особенно подчеркнуть значительный объем проведенных экспериментальных исследований. В целом материал изложен последовательно и обладает внутренним единством. Выводы аргументированы. Структура и содержание диссертации полностью отражают логику научного поиска и достижение поставленной цели.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации считаю обоснованными, они соответствуют полученным экспериментальным данным и опираются на общепринятые законы теории железобетона и строительной.

Выводы и рекомендации логически следуют из поставленных задач и полученных данных, а их корректность дополнительно подтверждается сопоставлением результатов с исследованиями других авторов.

**Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность результатов обеспечена применением поверенных средств измерений и аттестованного оборудования, использованием апробированных методик испытаний и обработки данных. Выявленные закономерности деградации структуры бетона под действием агрессивных сред согласуются с современными представлениями о многостадийном накоплении повреждений.

Научная новизна заключается в развитии подхода к оценке НДС и остаточного ресурса армированных бетонных балок (изгибаемых элементов) в агрессивных средах на основе анализа деградации структуры бетона как многоуровневого процесса. Предложен метод количественной оценки структурно-деформационных изменений с использованием аппарата фрактальной геометрии для обработки диаграмм деформирования, что

позволяет формализовать связь между накоплением повреждений и снижением несущей способности.

Основные результаты опубликованы в 13 работах (в т.ч. 9 – в изданиях, рекомендуемых ВАК). Новизна и практическая значимость подтверждены патентом РФ на изобретение и тремя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

### **Замечания по диссертационной работе**

По работе имеются следующие замечания:

1. Включение в экспериментальную часть образцов армированных стальной арматурой позволило бы более уверенно перенести результаты работы на весь спектр железобетонных конструкций учитывая, что в данном случае при воздействии агрессивных сред будет наблюдаться не только коррозия бетона, но факторы связанные с коррозией арматуры, и в некоторой степени с потерей сцепления ее, которые в работе не учитываются.

2. В диссертации связь фрактальных характеристик диаграмм деформирования с традиционными показателями поврежденности бетона (коэффициенты снижения модуля упругости, прочности, условные параметры трещинообразования) раскрыта преимущественно через корреляционные зависимости. Было бы полезно более явно сопоставить предлагаемые фрактальные показатели с используемыми в нормативной практике коэффициентами деградации, что облегчило бы интеграцию методики в существующие расчетные подходы.

3. На странице 59 диссертации соискатель указывает, что им получены экспериментальные диаграммы деформирования бетона, которые отражают действительную работу материала. При этом указано, что прямое внедрение этих диаграмм приведет к ошибкам. Учитывая, что полученные диаграммы с нестандартным изгибом в начальной зоне могут быть точно описаны деформационной моделью бетона на основе уравнения Аррениуса, было бы интересно сравнить результаты расчета на основе экспериментально

полученных диаграмм и диаграмм, приведенных автором к нормированному виду.

4. В численных расчетах деградация учитывается через введенные функции. Представляется целесообразным дополнительно рассмотреть влияние на результаты (напряженно-деформированного состояния и ресурса) ключевых параметров деградационной модели, что повысило бы универсальность методики.

5. Материал в целом изложен последовательно, однако отдельные обозначения и сокращения (в частности, связанные с фрактальными параметрами и деградационными функциями) целесообразно унифицировать по всему тексту и сгруппировать в расширенный перечень обозначений для удобства восприятия.

Сформулированные замечания не являются критическими и не снижают общей положительной оценки диссертации, ее научной значимости и практической ценности результатов. Проведенное исследование и его выводы представляют несомненный интерес для специалистов в области расчета, проектирования и экспертизы строительных конструкций.

#### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа обладает внутренним единством и содержит научные положения, выносимые на защиту, которые являются новыми и обоснованными. Работа соответствует п. 3 паспорта научной специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки).

Диссертация Грязнова С.Ю. соответствует критериям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, представляет собой самостоятельно выполненную, завершенную научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача по разработке и обоснованию подходов к определению остаточного ресурса железобетонных конструкций, подверженных коррозии бетона в условиях воздействия агрессивных жидких сред, и имеет существенное значение для развития отечественной строительной отрасли.

