

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Пойты Петра Степановича

по диссертации Дереченника Станислава Станиславовича
«Прогнозирование надёжности строительных сооружений из бетона
при ограниченном объёме эмпирических данных»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите, со ссылкой на область исследования паспорта специальности, утвержденного ВАК

Название представленной к защите диссертации и ее содержание полностью соответствует отрасли науки – Технические науки, группе специальностей «Строительство и архитектура» и областям исследований, предусмотренным Паспортом специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения (утвержден приказом ВАК Республики Беларусь от 26.03.2024 № 83):

п. 3. ... развитие, совершенствование расчетных моделей сопротивления элементов конструкций ... с учетом особенностей воздействий на них, свойств материалов, ... Моделирование воздействий на строительные конструкции, здания и сооружения, включая климатические воздействия;

п. 4. Создание и развитие (совершенствование) методов оценки надежности строительных конструкций, зданий и сооружений, разработка и обоснование критериев и численных параметров для нормирования уровней надежности, обеспечивающих требования безопасности и эксплуатационной пригодности конструктивных систем и их отдельных элементов при проектировании по методу предельных состояний, прогнозируемых сроков службы зданий и сооружений ... ;

п. 5. Разработка и совершенствование методов и систем контроля качества и оценки соответствия строительных конструкций установленным требованиям в период их строительства, эксплуатации ... ;

п. 7. Обоснование нормативных требований к строительным конструкциям, зданиям и сооружениям, к методам их проектирования, вносимых в технические нормативно-правовые акты.

2. Актуальность темы диссертации

Надежность и безопасность являются ключевыми характеристиками любого здания и сооружения, обеспечение которых исключает или максимально снижает материальный, социальный, экологический ущерб от потенциального нарушения работоспособности (повреждения, разрушения). Важными научно-техническими элементами, обеспечивающими нормативный уровень надежности, являются: установление требуемых проектных значений для конструкций, контроль качества материалов, анализ изменения климата и нормирование климатических нагрузок, анализ и прогнозирование состояния конструкций. Ввиду случайной природы и существенной изменчивости базисных переменных функции состояния конструкций, прогнозирование поведения объектов строительства в различных условиях эксплуатации носит вероятностно-статистический характер, при этом достоверность прогноза напрямую зависит как от качества и объема имеющихся эмпирических данных, так и от способа их статистической обработки. По ряду объективных причин объем эмпирической выборки результатов измерений (испытаний) оказывается сравнительно небольшим, например, невозможно

получить прямыми измерениями эмпирические данные о прочности бетона в существующей конструкции в количестве, достаточном для достоверной обработки традиционными статистическими методами. Поэтому необходимы концептуально новые подходы к оцениванию случайных базисных переменных и, в целом, к анализу и прогнозированию надежности объектов строительства. Полученные результаты могут быть применены не только в проектировании и возведении объектов, но и в процессе мониторинга состояния существующих сооружений, что значительно повысит уровень их безопасности и сократит риски.

Работа выполнялась в рамках заданий государственных программ и ведомственных проектов:

- ГПОФИ «Строительство и архитектура» в 2006–2010 гг.;
 - ГПНИ «Строительные материалы и технологии» в 2011–2013 гг.;
 - Перечня работ по техническому нормированию и стандартизации Министерства строительства и архитектуры Республики Беларусь в 2015–2016 гг.;
 - ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», (подпрограмма 8 «Строительные материалы и технологии») в 2016–2018 гг.
- Тема диссертации является актуальной.

3. Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту

Основные результаты диссертации, представленные в выводах и выносимых на защиту положениях, обладают научной новизной и включают:

1) Новые методы оценивания квантили случайной величины, основанные на применении непараметрических (порядковых) статистик, которые не привязаны к конкретному виду ее вероятностного распределения и позволяют получать оценку с контролируемой достоверностью (доверительной вероятностью) при весьма ограниченном количестве эмпирических данных.

Новизна состоит в следующем. Квантиль эмпирического распределения рассматривается, в свою очередь, как случайная величина, поэтому выполняется ее не точечная, а интервальная оценка (что как раз соответствует представлениям о характеристических значениях случайных параметров нагрузок и прочности материалов). Оценка выполняется не во всем диапазоне случайной величины, а в той области, которая соответствует уровню искомой квантили – например, в правой (для верхних квантилей параметра нагрузки) или в левой (для нижних квантилей параметра прочности). Это позволяет, путем нелинейного преобразования шкалы вероятности, добиться линейной аппроксимации функции вероятностного распределения, а затем, путем интерполяции или экстраполяции – вычислить границу интервальной оценки в любой точке диапазона случайной величины или даже за его пределами.

2) На основе новых методов оценивания созданы: ряд новых непараметрических методик оценивания характеристической климатической нагрузки (верхних квантилей) и новых непараметрических оценок характеристической прочности и критериев соответствия прочности материалов (нижних квантилей, на примере прочности бетона на сжатие).

Новизна методик оценивания характеристической климатической нагрузки (по эмпирическим данным о годовых максимумах нагрузки) состоит в следующем. Выявление типа правой части экстремального распределения выполняется с варьированием числа старших порядковых статистик в модели

линеаризации, при этом проверяется гипотеза о наибольшем значении нагрузки как особом воздействии. Оценка верхней квантили эффективно достигается также и без анализа типа экстремального распределения – путем линейной аппроксимации пяти старших порядковых статистик эмпирических данных.

Новизна непараметрических оценок и критериев соответствия прочности состоит в их пригодности и эффективности для очень малых выборок данных, так как их линейная форма построена лишь на трех младших порядковых статистиках. При этом уровень статистической достоверности оценки может быть как заданным, так и адаптивным (например, к условию поддержания необходимого уровня выходного качества).

3) Концептуальное развитие подхода к прогнозированию надежности строительных сооружений.

Новизна подхода состоит в следующем. С использованием новой линейной оценки квантили прочности построена новая численная процедура получения распределения квантили по имеющейся эмпирической выборке данных, в том числе для существующей конструкции. Впервые предложено рассматривать такое распределение во взаимосвязи с действующими на конструкцию нагрузками (т.е. в функции состояния конструкции). Это позволило трактовать как случайную величину и вероятность отказа конструкции. Средняя вероятность отказа («средний уровень конструкционной надежности»), предложенная как новый показатель надежности существующих конструкций, позволяет найти обоснованный уровень достоверности для выполнения оценки существующих конструкций.

Следует отметить также признание результатов диссертации в мировой практике, что подтверждается следующим примером.

Заметное зарубежное цитирование имеет статья соискателя [18-А], в которой изложен новый подход к прогнозированию надежности строительных сооружений. Именно этот подход авторы статьи в журнале *Scientific Reports* («дочернем» по отношению к журналу *Nature*) рекомендуют применять, «используя данные о прочности бетона *in-situ*, для проектирования мер по модернизации существующей конструкции».

[Kaur, N., Negi, P. In situ strength assessment of rapid set concrete in real time using resonant peak parameters of embedded PZT transducers // Sci Rep 15, 11281 (2025)].

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность результатов, выводов и рекомендаций обеспечена следующим:

- 1) корректным теоретическим решением вероятностно-статистических задач;
- 2) выполнением компьютерной обработки большого количества экспериментальных данных о результатах испытания прочности бетона и климатических воздействиях, а также имитационным моделированием (вычислительными экспериментами);
- 3) проведением сравнения новых методик и критериев с известными;
- 4) результатами внедрения в ряд технических нормативных документов для строительной отрасли;
- 5) большим количеством публикаций в зарубежных журналах, апробацией на научных конференциях.

Выводы и рекомендации диссертации имеют научное обоснование и не противоречат имеющемуся научному и инженерному знанию, в том числе в области теории надежности строительных сооружений.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации, рекомендации по их использованию

Научная значимость. Перечисленные в п. 3 отзыва результаты являются принципиально новыми, они концептуально развивают актуальное научное направление вероятностно-статистического анализа и прогнозирования надежности. Совокупность результатов является крупным достижением в области теории и методов расчета надежности строительных сооружений.

Большая **практическая значимость** результатов диссертации подтверждена справкой РУП «Стройтехнорм» от 13.11.2024 № 14-10-24/6356 об их внедрении в технические нормативно-правовые акты (ТНПА) Республики Беларусь:

- 1) Национальное приложение к ТКП EN 1991-1-3-2009 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки»;
- 2) Национальное приложение к ТКП EN 1991-1-4-2009 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия»;
- 3) Национальное приложение к ТКП EN 1991-1-5-2009 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-5. Общие воздействия. Температурные воздействия»;
- 4) Строительные нормы СН 2.01.04-2019 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки»;
- 5) Строительные нормы СН 2.01.05-2019 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия»;
- 6) Строительные нормы СН 2.01.06-2019 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Температурные воздействия»;
- 7) Стандарт СТБ 2264-2012 «Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности»;
- 8) Национальное приложение к стандарту СТБ EN 206-2016 «Бетон. Требования, показатели, изготовление и соответствие»;
- 9) Строительные нормы СН 2.01.01-2022 «Основы проектирования строительных конструкций»;
- 10) проект стандарта СТБ «Бетоны конструкционные. Общие технические требования» (в стадии утверждения).

Результаты диссертации имеют высокую **экономическую значимость**. Использование новых методик и критериев, внесенных в ТНПА, обеспечивает рациональное проектирование или обследование конструкций и сооружений с точки зрения исключения или минимизации материального ущерба при отказах, рациональное проектирование состава и эффективный контроль соответствия бетона, в особенности на начальной стадии производства. В работе приведена оценка потенциального экономического эффекта, который может быть получен от использования новой оценки соответствия по экономической схеме.

Социальная значимость результатов диссертации состоит в повышении безопасности жизнедеятельности при снижении угрозы гибели людей при катастрофических отказах – за счет качественного прогнозирования надежности строительных сооружений.

Рекомендации по использованию. Следует изучить возможность применения результатов к другим объектам строительства, в частности новых непараметрических оценок свойств грунтов оснований и фундаментов, новых подходов к анализу надежности системы «здание–фундамент–основание».

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты, положения и выводы диссертации опубликованы в 24 работах в печатных изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (утверждено Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560, в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190). В их числе: монография (издательства БрГТУ), 4 раздела в коллективных зарубежных монографиях, 19 статей в журналах и сборниках (в том числе 7 – в зарубежных). Четыре статьи в журналах и два раздела в монографиях входят в базу цитирования SCOPUS.

Результаты работы опубликованы также в 22 печатных работах в других изданиях (18 статей в журналах и в сборниках и тезисы 4 докладов конференций).

Требования п. 19 Положения по количеству публикаций и научному уровню изданий выполняются.

Результаты диссертации апробированы на научных конференциях, семинарах и других мероприятиях международного уровня (5 в Республике Беларусь, 6 зарубежных), что свидетельствует об обеспечении национального приоритета научных результатов. Следует особо отметить личное участие соискателя в двух мировых симпозиумах (*fib Symposium* в 2017 и 2019 гг., Нидерланды, Польша) и трех европейских конференциях (*Czech Concrete Days / Betonářské dny* в 2017, 2018 и 2019 гг., Чехия).

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа и автореферат содержат необходимые структурные элементы. Следует отметить грамотное и стилистически качественное изложение текста и представление другого материала (таблицы, рисунки, приложения). Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям «Инструкции о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации» (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь 28.02.2014 № 3; в редакции Постановления ВАК Республики Беларусь 22.08.2022 № 5).

8. Замечания по диссертации

1) Применение новых подходов, методик к оцениванию характеристических значений иных климатических воздействий (ветровых и температурных) не иллюстрируется примерами расчетов.

2) В последнем выводе главы 2 (с. 66) указано, что новая методика оценивания климатических нагрузок «позволяет создавать геоинформационные системы, основанные на актуальных метеорологических данных, учитывающие как региональные физико-географические особенности, так и современные климатические изменения». Неясно, была ли создана такая система? При этом оценки характеристической снеговой нагрузки (с учетом альтитуды) и ветровых воздействий, на основе которых было выполнено районирование для территории

Республики Беларусь (вошло в соответствующие строительные нормы 2019 года), непосредственно используются немецкой компанией Dlubal Software в их «Программе для расчета и проектирования конструкций (карты зон снеговой, ветровой и сейсмической нагрузок)».

3) Не указано, какие программные средства использовались для выполнения компьютерного моделирования.

4) Тезис об универсальности нового непараметрического метода оценивания бетона (например, вывод по главе 4) не вызывает сомнений. При этом пункт 4.4.4 «Применение непараметрической оценки квантилей к эмпирическим данным других типов» построен опять-таки исключительно на примере бетона. Здесь уместен был бы анализ применимости к другим важным материалам, например строительным грунтам.

5) В разделах 1.3 и 4.4 рассмотрен типовой пример расчета железобетонной колонны, однако выбор данного вида конструктивного элемента в работе не обосновывается.

6) Во втором абзаце на с. 152 в формуле присутствует непонятный знак $\square$ (по-видимому, вместо знака $\approx$).

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

В основу работы положены диссертационные исследования, выполненные соискателем в период с 2006 по 2024 год. Представленные результаты оригинальны, логично взаимосвязаны целью и задачами диссертационной работы, чем обеспечен ее высокий научный уровень и внутренне единство. Самостоятельность получения основных результатов, формулировки выводов и положений сомнений не вызывает. С.С.Дереченник имеет хорошую физико-математическую подготовку, обладает эрудицией в различных областях науки и техники, оригинальностью мышления, способностью к системному и критическому анализу.

Научная квалификация Дереченника Станислава Станиславовича соответствует ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация «Прогнозирование надёжности строительных сооружений из бетона при ограниченном объёме эмпирических данных» соответствует требованиям к докторским диссертациям, установленным главой 3 (пункты 20, 21, 22, 24 и 26) Положения о присуждении ученых степеней и присуждении ученых званий, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190).

Дереченнику Станиславу Станиславовичу может быть присуждена ученая степень доктора технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения за:

концептуальное развитие актуального научного направления вероятностно-статистического анализа и прогнозирования надежности строительных сооружений из бетона, выразившееся: в разработке новой единой методологии непараметрического статистического анализа эмпирических распределений базисных переменных функции состояния конструкций, основанной на линейной

аппроксимации, интерполяции, экстраполяции эмпирических данных с нелинейным преобразованием шкалы вероятности в области искомой квантили распределения, применимой к интервальному оцениванию нижних и верхних квантилей по выборкам данных ограниченного объема, в создании, на этой основе, принципиально новых оценок и критериев для базисных переменных климатической нагрузки и прочности бетона, обладающих контролируемой и адаптивной, к задаваемым условиям применения, статистической достоверностью, а также в концептуально новом подходе к прогнозированию надежности строительных сооружений, состоящем в определении, путем анализа восстановленной по эмпирическим данным функции распределения квантили прочности бетона совместно с функцией распределения воздействия на конструкцию, нового показателя «средний уровень конструкционной надежности» и эквивалентного ему уровня достоверности для выполнения оценки существующих конструкций, что позволило выполнить разработку технических кодексов, строительных норм и стандартов Республики Беларусь для климатических воздействий и конструкционного бетона.

Даю согласие на размещение отзыва на сайте учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Официальный оппонент:

профессор кафедры геотехники
и транспортных коммуникаций
учреждения образования
«Брестский государственный
технический университет»,
профессор, доктор технических наук

 П.С.Пойта

