

ОТЗЫВ официального оппонента

о 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»

Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите. Объектом исследования явились строительные сооружения из бетона, а также их конструктивные элементы, функционирующие в условиях переменных, в частности климатических нагрузок. Предметом исследования стали методы вероятностных оценок соответствия прочности бетона на сжатие и климатических нагрузок, в частности снеговой и ветровой, для прогнозирования надёжности строительных конструкций и сооружений.

Объект и предмет исследования, подученные результаты и сформулированные в работе выводы соответствуют (*выделено курсивом*) следующим пунктам раздела «Области исследований» Паспорта специальности 05.23.01, утвержденного приказом ВАК Республики Беларусь от 26.03.2024 № 83:

– пункту 3: *«моделирование воздействий на строительные конструкции, здания и сооружения, включая климатические воздействия».*

– пункту 4: *«Создание и развитие (совершенствование) методов оценки надёжности строительных конструкций, зданий и сооружений, разработка и обоснование критериев и численных параметров для нормирования уровней надёжности, обеспечивающих требования безопасности и эксплуатационной пригодности конструктивных систем...».*

Анализ содержания диссертационной работы позволяют заключить, что диссертация в полной мере соответствует специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения», а также отрасли «Технические науки».

Актуальность темы диссертации. В современных условиях строительства, характеризующихся высокой степенью конкуренции и необходимостью сокращения временных и материальных затрат, важнейшим аспектом остается обеспечение безопасности жизнедеятельности, которая определяется, в первую очередь, механической безопасностью и надёжностью строительных сооружений. Сооружения в целом, конструкции и конструктивные элементы, а равно бетон и железобетон, как основной конструкционный материал, подвергается влиянию различных воздействий, в том числе переменных, например, климатических. Адекватность расчета надёжности зависит от точности оценивания многих случайных по своей природе переменных, таких как действующие нагрузки и эксплуатационные характеристики сооружений и в первую очередь, прочности материалов. Одной из ключевых проблем здесь является недостаток эмпирических данных, что ограничивает возможности использования традиционных методов оценок надёжности сооружений. Необходима разработка новых подходов и методов, которые позволят осуществлять оперативное прогнозирование надёжности строительных сооружений, на основе имеющихся ограниченных данных, путем интеграции современных методов математического моделирования и статистического анализа. В связи с этим тему диссертации можно признать актуальной.

Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту. Основные результаты диссертации представлены в пяти выводах (по числу глав) и сформулированы в виде трех научных положений, выносимых на защиту. Научные положения изложены в диссертации с развернутыми сущностными формулировками отличительных признаков от современного передового знания. Анализ содержания, результатов диссертации и защищаемых положений позволяет заключить, что они обладают высокой степенью научной новизны, состоящей в следующем.

1. Разработаны новые методы непараметрического оценивания квантили случайной величины с неизвестным распределением, основанные на определении вероятности принадлежности квантили непараметрическим интервалам, заданным порядковыми статистиками эмпирической выборки. Для оценивания нижних и верхних квантилей в малых выборках данных соискатель предложил *принципиально новый подход*: переход от оценок на границах интервалов к произвольным точкам внутри их, а также за пределами размаха выборки. Это достигается за счет нелинейного преобразования шкалы вероятности, в окрестности квантили, для линейной аппроксимации эмпирических данных и последующей интерполяции или экстраполяции. При этом контролируется заданная статистическая достоверность оценки.

2. Разработана комплексная непараметрическая методика оценивания медианы верхней (уровня 0,98) квантили на правой хвостовой части эмпирических распределений климатической (снеговой) нагрузки. При установлении принадлежности хвостовой части эмпирических распределений одному из известных типов экстремальных распределений *новыми* являются: методика варьирования числа используемых старших порядковых статистик, гипотеза о принадлежности наибольшей статистики к категории особых воздействий, *впервые* выполненное районирование территории по типам распределения. *Новым* также можно считать *прямое, без установления типа распределения, оценивание квантили* путем выполнения линейной регрессии для пяти старших порядковых статистик (с нелинейным преобразованием шкалы вероятности).

3. Концептуальное развитие методов прогнозирования надежности строительных сооружений включает целый ряд *принципиально новых* результатов:

- непараметрические оценки нижней квантили (уровня 0,05) прочности материала (бетона) для эмпирической выборки малого объема, статистическая достоверность которых может быть как назначенной (с учетом соотношения рисков производителя и потребителя), так и адаптированной к нормативному уровню выходного качества бетона (по экономической схеме);

- процедура численного восстановления эмпирического распределения нормируемой квантили для малых, начиная с 3-х результатов, эмпирических выборок;

- распределение квантили прочности бетона *впервые* рассмотрено во взаимосвязи, через функцию состояния конструкции, с распределением вероятности отказа конструкции; что позволило ввести *новый критерий* для анализа конструкций существующего сооружения – «средний уровень конструкционной

надежности», позволяющий определить эквивалентный уровень достоверности, необходимый для оценки характеристической прочности.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Выводы по главам диссертации, имеют научное обоснование в соответствующих разделах глав и вытекают из их содержания. Заключительные выводы основаны на выводах по главам, представляют результат исследования в систематизированном виде, сформулированы логично и последовательно. Результаты диссертации не противоречат сложившемуся к настоящему времени научному знанию.

Достоверность результатов и основанных на них выводов обеспечена:

- применением основных положений инженерных наук, в частности теории надежности строительных сооружений;
- корректным использованием математического аппарата, в частности теории вероятностей, параметрической и порядковой статистики;
- проведением большого объема вычислительных экспериментов, в частности при имитационном компьютерном моделировании;
- использованием обширной базы эмпирических данных о климатических воздействиях и о результатах испытаний прочности бетона на сжатие, а также приведенными примерами расчетов с применением новых методик в сравнении с существующими.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию. Единая методология непараметрического статистического анализа эмпирических распределений и новые непараметрические методы оценивания базисных переменных нагрузки и сопротивления, новые подходы к расчету вероятности отказа конструкций *концептуально развивают новое и актуальное научное направление* вероятностно-статистического анализа и прогнозирования надежности строительных сооружений. Совокупность результатов является *крупным достижением* в области вероятностной оценки, теории и методов расчета надежности строительных сооружений.

Практическая значимость результатов диссертации очень высока и определена их внедрением в целый ряд технических нормативно-правовых актов Республики Беларусь:

- Национальное приложение к ТКП EN 1991-1-3-2009 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки»;
- Национальное приложение к ТКП EN 1991-1-4-2009 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия»;
- Национальное приложение к ТКП EN 1991-1-5-2009 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-5. Общие воздействия. Температурные воздействия»;
- Строительные нормы СН 2.01.04-2019 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки»;
- Строительные нормы СН 2.01.05-2019 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия»;
- Строительные нормы СН 2.01.06-2019 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Температурные воздействия».

- Стандарт СТБ 2264-2012 «Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности»;
- Национальное приложение к стандарту СТБ EN 206-2016 «Бетон. Требования, показатели, изготовление и соответствие»;
- Строительные нормы СН 2.01.01-2022 «Основы проектирования строительных конструкций»;
- проект стандарта СТБ «Бетоны конструкционные. Общие технические требования».

Внедрение результатов в названные документы подтверждено справкой РУП «Стройтехнорм» – головной организации Министерства строительства и архитектуры Республики Беларусь по техническому нормированию и стандартизации в области строительства.

Результаты диссертации имеют высокую экономическую и социальную значимость. Например, в конце пятой главы показано, что использование производителем бетона новой экономической оценки соответствия позволяет уменьшить расчетную среднюю прочность и скорректировать начальный состав бетона, достигая существенного снижения расхода цемента (годовая экономия в масштабах Республики Беларусь на уровне 21 тыс. тонн). Следует, однако, отметить, что не существует объективных методик расчета прямого экономического эффекта от внедрения результатов в технические нормативные документы в области строительства. При этом можно отметить очевидный социальный эффект в виде повышения безопасности жизнедеятельности, т.к. снижаются угрозы катастрофических отказов и гибели людей, например, при экстремальных климатических явлениях, за счет повышения достоверности прогнозирования надежности строительных сооружений.

Поэтому для данной диссертации правомерно заключить о *высокой социально-экономической значимости результатов*.

Результаты могут быть доработаны и распространены на оценивание соответствия других материалов и других видов конструкций: металлических, деревянных и композитных. Они могут использоваться при оценке состояния объектов строительства, разработке инженерных мероприятий и принятии управленческих решений по обеспечению надежности конструкций, зданий и сооружений.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати.

Основные результаты, положения и выводы диссертации опубликованы в 24 работах в печатных изданиях:

- монография, издательства Брестского государственного технического университета в 2023 г.;
- 4 раздела в коллективных монографиях, в т.ч. 1 – в Российской Федерации в 2018 г., 3 – в других зарубежных издательствах в 2007, 2018 и 2019 гг.;
- 19 статей в журналах и сборниках: 12 – в журналах и в сборнике Республики Беларусь в 2005–2024 гг. (в т.ч. 9 статей в Вестнике Брестского государственного технического университета); 1 – в Российской Федерации (журнал Строительство и реконструкция, 2016 г.); 6 – в других зарубежных изданиях в 2012-2020 гг. (4 статьи в журналах из в базы цитирования SCOPUS).

Два раздела в монографиях и 4 статьи в журналах входят в базу цитирования SCOPUS. Количество публикаций и научный уровень изданий удовлетворяют требованиям п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Кроме того, результаты работы отражены в 10 научных статьях в других рецензируемых журналах и в сборнике научных трудов, 8 статьях в материалах конференций и тезисах 4 докладов конференций.

Результаты были представлены на целом ряде научных мероприятий международного уровня, проводимых в Республике Беларусь (3 конференции, 2 семинара), в Российской Федерации (академические чтения в г Курске), за рубежом (2 симпозиума Международной федерации по бетону 2017 и 2019 гг. в Нидерландах и в Польше, 3 конференции в 2017–2019 гг. в Чехии).

Зарубежные публикации и международные конференции свидетельствуют о национальном приоритете и международном признании результатов работы.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК. Диссертационная работа и автореферат имеют все необходимые структурные элементы, изложены и оформлены в соответствии с «Инструкцией о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации», утвержденной Постановлением ВАК Республики Беларусь 28.02.2014 № 3 (в редакции Постановления ВАК Республики Беларусь 22.08.2022 № 5). Автореферат соответствует содержанию диссертации. Работа имеет внутреннее единство, текст диссертации и автореферата изложен грамотным техническим языком, иллюстрации и таблицы качественны и информативны.

По результатам рассмотрения диссертации могут быть высказаны следующие замечания и пожелания.

1. В первой главе диссертации посвященной анализу проблемы прогнозирования надежности строительных сооружений и возможным направлениям ее решения автор основное внимание уделил действующим европейским и Республики Беларусь нормативным документам в области климатических воздействий и прочности бетона. При этом из анализа выпали многочисленные исследования, проведенные в последние два десятилетия многими российскими и зарубежными учеными по вопросам прогнозирования надежности и долговечности проектируемых и эксплуатируемых строительных конструкций. Между тем, в этих исследованиях, для прогнозирования остаточных сроков службы используется теория случайных функций и интервальный метод. Прогнозирование ведется по нескольким независимым параметрам с использованием различных методов и прогнозных моделей (см, например, работы Шмелева Г.Д. Федотова М.И., Селяева В.П., Чиркова В.П. Левина В.М. Левченко В.Н и др.). В этой же главе, на странице 11 автор формулировку понятия «надежность» изложил почему-то в редакции Г.Шпете (1994 год) а, не в редакции ГОСТ ИСО 8930-2016.

2. В главе 2 (стр..52) утверждается, что разработанная непараметрическая методика статистической оценки квантили и использующая приближение различного типа распределений экстремальных значений является достаточно эффективной, и позволяет получить более обоснованные, по сравнению с существующими методами, характеристические значения снеговой нагрузки. При этом достовер-

ность методики подтверждается численным анализом результатов, полученных по самой методике и построенными по результатам нормирования картам районирования снеговой нагрузки, которые хорошо согласуются с подобными картами, построенными ранее для смежных территорий сопредельных государств. Насколько это корректно, если карты сопредельных государств строились по разным методикам?

3. Ключевым элементом в рассматриваемом диссертационном исследовании, с позиций надежности сооружений, является выполненный в работе анализ характеристической прочности бетона с использованием разработанного метода непараметрической оценки, а также непараметрическое оценивание характеристических значений климатических нагрузок на строительные сооружения. Желательно было бы привести сведения как эти, выбранные автором для решения проблемы прогнозирования надежности сооружений параметры, отражаются на общем уровне безопасности строительных конструкций и сооружений. Следовало бы количественно показать, насколько предлагаемый автором подход и предлагаемый им инструментарий к оценке соответствия прочности бетона на сжатие и климатических нагрузок, в частности снеговой и ветровой нагрузок приближает к решению проблемы.

4. Традиционно применяемый и подтвержденный многолетним опытом проектирования сооружений полувероятностный метод с целью гарантировать надежность конструктивных систем ведет к существенной недооценке надежности по сравнению с вероятностным методом. Этим он достаточно надежно защищает нас от незнаний в *прогнозировании надежности и долговечности проектируемых и эксплуатируемых строительных конструкций*. этой области. Отказ колонны, приведенный автором в примере расчета железобетонной колонны, далеко не полно иллюстрирует надежность отказа всего сооружения. Отказ сооружения зависит не только от прочности бетона и распределения снеговой нагрузки.

5. В третьей главе диссертации приведен анализ структурно-технологических факторов изменчивости свойств цементных материалов. При этом автор утверждает, что среди базисных переменных функций состояния железобетонных конструкций прочность бетона на сжатие имеет наибольшую изменчивость. С этим сложно согласится, поскольку при прогнозировании надежности сооружений из железобетона значительный коэффициент вариаций имеет место и среди других базисных функций, определяющих надежность сооружения, например, структура сечения конструкции, вид напряженного состояния, параметры деградации арматуры и бетона во времени, параметры определяющие условия эксплуатации, режимы нагружения и др.

6. В четвертой главе диссертации в рассматриваемой концепции надежности автор предложил новую концепцию и инструментарий для непараметрической оценки характеристической прочности бетона на сжатие при малом объеме эмпирических данных. В отличие от традиционно принятого этапа проектирования сооружения, при котором оценка характеристической прочности бетона на сжатие по нормальному распределению параметра прочности и фиксации его коэффициентом вариации автор предлагает обработку результатов полевых испытаний прочности бетона и порядковых статистиках эмпирических выборок данных. Возникает вопрос как это сделать для вновь проектируемой конструкции? Не случай-

но приведенный в главе 4 пример оценки надежности выполнен для существующей конструкции железобетонной колонны.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени доктора наук. Отраженный в общей характеристике работы личный вклад соискателя, наличие необходимых ссылок на работы других авторов и на собственные публикации позволяют заключить о самостоятельности получения основных результатов диссертации и выполнении диссертационного исследования работы в целом. Анализ содержания диссертации, уровня поставленных и решенных в работе задач, авторских публикаций, использованных методов исследований, а также проявленный автором системотехнический подход при разработке и применении моделей, анализе и представлении им полученных результатов, позволяют заключить, что квалификация соискателя Дереченника Станислава Станиславовича соответствует ученой степени доктора технических наук.

Заключение. Сделанные замечания по значительной части носят характер пожеланий для дальнейшего развития исследований по рассматриваемому научному направлению и не снижают общей положительной оценки диссертации. Диссертация «Прогнозирование надёжности строительных сооружений из бетона при ограниченном объёме эмпирических данных» соответствует требованиям к докторским диссертациям, установленным главой 3 (пункты 20–22, 24, 26) действующего в Республики Беларусь «Положения о присуждении ученых степеней и присуждении ученых званий».

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

- единую методологию непараметрического статистического анализа эмпирических распределений базисных переменных, входящих в функции состояния конструкции из бетона, позволяющую получать интервальные оценки нижних и верхних квантилей распределений с известной и задаваемой статистической достоверностью при малом (до 15 результатов) и очень малом (от 3 до 7 результатов) объеме выборок эмпирических данных;

- комплексную непараметрическую методику оценивания климатических воздействий, в частности веса снегового покрова на поверхности земли, основанную на определении верхних квантилей распределения эмпирических данных, с выявлением либо без выявления типа экстремального распределения, с линейной или нелинейной интерполяцией старших порядковых статистик и экстраполяцией для выявления особых значений нагрузок, которая позволяет прогнозировать величину характеристической нагрузки с заданным уровнем достоверности и обеспечивать разработку технических кодексов и строительных норм климатических воздействий (снег, ветер, температура);

- концептуальное развитие методов прогнозирования надежности строительных сооружений, выразившееся в создании новой непараметрической оценки нормируемой квантили вероятностного распределения прочности бетона (в частности, 0,05-квантили) с малочисленными выборками эмпирических результатов испытаний, имеющей вид линейной комбинацией трех младших порядковых статистик эмпирической выборки и предусматривающей переменный, назначаемый

либо адаптированный к и нормативному уровню выходного качества, уровень достоверности, которая применима как к производимому бетону, так и к оценке его прочности в существующей конструкции, при этом получаемое распределение квантили прочности определяет усредненную вероятность отказа конструкции как новый показатель «средний уровень конструкционной надежности».

Даю согласие на размещение отзыва на сайте Брестского государственного технического университета и обработку моих персональных данных в документах, связанных с работой Совета по защите диссертаций Д 02.09.01.

Официальный оппонент:

действительный член РААСН, доктор технических наук (05.23.01), профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Колчунов Виталий Иванович

Адрес: 129337, Москва, р-н Ярославский, ш Ярославское, д 26,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

E-mail: asiorel@mail.ru

Тел.: 8-910-315-48-50

Подпись В.И. Колчунова заверяю:

«__» июня 2025 года

Начальник отдела
кадрового делопроиз-
водства УРП
А.В. ПИНЕГИН

