

В диссертационный совет 6D.КОА-027 при
Таджикском техническом университете
имени академика М.С. Осими

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Филатова Владимира Владимировича на диссертационную работу Махмадизода Усмонали Муродали на тему: «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования», представленную на соискание ученой степени доктора философии (PhD) - доктора по специальности 6D072900 - Строительство (6D072902 - Строительные конструкции, здания и сооружения)

Диссертационная работа Махмадизода Усмонали Муродали посвящена разработке экспериментально обоснованной методики физического моделирования железобетонных балок, которая обеспечивает достоверный перенос параметров напряжённо – деформированного состояния с модельных образцов на натурные конструкции. Выбранная тема является актуальной с научной и практической точек зрения и соответствует современным направлениям развития экспериментального исследования железобетонных конструкций.

На основании изучения диссертационной работы, автореферата и опубликованных научных работ по теме диссертации Махмадизода Усмонали Муродали считаю необходимым отметить следующее.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Железобетонные конструкции широко применяются в промышленном и гражданском строительстве, поэтому повышение достоверности оценки их напряженно-деформированного состояния, трещиностойкости, деформативности и несущей способности имеет непосредственное значение для надежности и безопасности зданий и сооружений.

Натурные испытания наиболее полно отражают фактическую работу железобетонных элементов, но требуют значительных материальных и технических затрат. В связи с этим актуально развитие физического моделирования, обеспечивающего исследование конструкций на уменьшенных моделях с последующим научно обоснованным переносом результатов на натурный объект. Для железобетона такой переход осложняется неоднородностью материала, трещинообразованием, изменением жесткости сечения и физически нелинейным деформированием, вследствие чего одного геометрического подобия недостаточно.

Особую значимость имеет масштабный учет ширины раскрытия нормальных трещин: прямое перенесение нормативного значения с натурной конструкции на физическую модель без соответствующего пересчета может привести к неверной оценке стадии ее работы. Поэтому выбранная тема является актуальной и отвечает современным задачам экспериментального и численного исследования железобетонных конструкций.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, рекомендаций по практическому использованию результатов, списка литературы, списка основных публикаций и приложений. Основной текст до списка литературы диссертации изложен на 238 страницах; общий объем без приложений составляет 253 страницы, с приложениями - 282 страницы. Работа содержит 151 рисунок, 61 таблицу, 3 приложения и список литературы из 132 наименований.

Во введении и общей характеристике обоснована актуальность темы, определены цель, задачи, объект и предмет исследования, сформулированы научная новизна, значимость и положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены теоретические основы физического моделирования, теория подобия и размерный анализ применительно к железобетонным конструкциям.

Во второй главе представлены натурные испытания железобетонных балок, включая параметры опытных образцов, характеристики материалов, схему нагружения и методику измерений.

Третья глава посвящена модельным балкам масштаба 1:4, анализу масштабного эффекта, деформирования и трещинообразования, а также сопоставлению модельных и натурных данных с использованием критериев и коэффициентов подобия.

В четвертой главе выполнено физически нелинейное конечно-элементное моделирование натурных и модельных балок в ПК ЛИРА-САПР 2022 и сопоставление расчетных данных с экспериментом. В заключении систематизированы основные результаты и приведены рекомендации по их практическому использованию. Структура работы соответствует логике поставленных задач.

3. Степень достоверности полученных результатов

Достоверность результатов обеспечивается сочетанием теоретических, экспериментальных и численных методов. Теоретическая база включает положения строительной механики, теории железобетона, теории подобия и размерного анализа; экспериментальная - натурные испытания и испытания геометрически подобных модельных балок масштаба 1:4 при статическом нагружении. Натурные данные приняты эталонной базой для оценки масштабного перехода.

Сопоставление выполнено на характерных стадиях работы. При применении комплексного коэффициента подобия средняя погрешность в момент образования трещин составила 5,40 % по нагрузке и 6,27 % по прогибу, после образования трещин - соответственно 3,87 % и 7,22 %; по эквивалентному

изгибающему моменту - 4,6 %. Для модели масштаба 1:4 получено эквивалентное предельное раскрытие трещин 0,16 мм при расхождении расчетного и экспериментального значений 5,88 %.

Дополнительная проверка выполнена физически нелинейным конечно-элементным моделированием в ПК ЛИРА-САПР 2022 с использованием фактических характеристик материалов, что в совокупности позволяет положительно оценить достоверность основных результатов.

4. Степень новизны полученных результатов и научных положений, выносимых на защиту

Научная новизна определяется развитием методических положений физического моделирования изгибаемых железобетонных элементов на основе теории подобия и размерного анализа с учетом стадийности и физической нелинейности работы железобетона.

Первое положение связано с экспериментально обоснованной методикой, позволяющей по испытаниям геометрически подобных моделей масштаба 1:4 прогнозировать параметры напряженно-деформированного состояния натурной конструкции, используя натурные испытания как эталонную основу оценки перехода «модель - натура».

Второе положение заключается в применении критериев и комплексного коэффициента подобия для переноса нагрузок, изгибающих моментов, прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин от упругой стадии до разрушения с учетом изменения жесткости после трещинообразования. Третье положение связано с эмпирической зависимостью между шириной раскрытия трещин в модельных и натурных балках, обеспечивающей прогнозирование трещиностойкости натурной конструкции.

К значимым результатам относится также обоснование методики физически нелинейного конечно-элементного моделирования с использованием фактических диаграмм деформирования бетона и арматуры и верификацией

расчетных результатов по экспериментальным данным. В совокупности полученные положения обладают необходимой степенью научной новизны.

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

Научная значимость состоит в развитии теории подобия и размерного анализа применительно к изгибаемым железобетонным элементам с трещинообразованием, изменением жесткости и нелинейным деформированием. Практическая значимость определяется возможностью прогнозной оценки параметров напряженно-деформированного состояния по модельным испытаниям, оценки трещиностойкости и деформативности, а также верификации конечно-элементных моделей.

Экономическая значимость подтверждается технико-экономической оценкой: затраты на изготовление модельных образцов в рамках исследования составили 2,19 % от затрат на натурные балки. Социальная значимость носит опосредованный характер и связана с повышением обоснованности оценки надежности и безопасности железобетонных конструкций, что особенно актуально для условий высокой сейсмичности и развития городского строительства Республики Таджикистан.

Результаты целесообразно использовать в научно-исследовательских организациях и испытательных лабораториях при планировании физических экспериментов; в проектных организациях при верификации численных моделей; при исследовании конструктивных элементов и узлов, трудно описываемых аналитически; а также в учебном процессе строительных вузов.

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

Обоснованность выводов определяется последовательной постановкой задач, испытаниями трех натурных и трех модельных балок, определением

фактических характеристик бетона и арматуры, применением сопоставимых схем нагружения и регистрацией основных параметров напряженно-деформированного состояния.

Натурные данные использованы как эталон для проверки результатов модельных экспериментов, а сопоставление выполнено по нагрузкам, изгибающим моментам, прогибам, деформациям и ширине раскрытия трещин. Полученные расхождения находятся на приемлемом уровне и дополнительно подтверждены физически нелинейным численным моделированием. Рекомендации логически следуют из результатов исследования и ориентированы на практическое применение физического моделирования и верификацию расчетных моделей.

7. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Тема, объект, предмет, методы и результаты диссертации соответствуют специальности 6D072900 - Строительство (6D072902 - Строительные конструкции, здания и сооружения). Работа относится к направлениям, связанным с экспериментальной оценкой строительных конструкций, линейной и нелинейной механикой, физико-математическим моделированием и численными методами расчета сооружений и их элементов.

8. Публикация результатов по теме диссертации

Основные результаты отражены в 9 научных публикациях: 5 работ опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан, 1 статья - в международном научном журнале и 3 работы - в материалах научно-практических конференций и иных изданиях; 6 публикаций входят в Российский индекс научного цитирования. Опубликованные работы достаточно полно отражают основные этапы и результаты исследования.

9. Оценка автореферата диссертации

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации: представлены актуальность, цель и задачи, объект и предмет, научная новизна, значимость, положения, выносимые на защиту, сведения о достоверности, публикациях и апробации. Основные результаты четырех глав изложены последовательно, а сформулированные выводы согласуются с целью и задачами исследования.

10. Соответствие оформления диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан

Диссертация и автореферат имеют логически завершенную структуру; материал изложен последовательно, выводы связаны с поставленными задачами, а графические и табличные материалы обосновывают экспериментальные и расчетные результаты.

В целом оформление соответствует требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан.

11. Соответствие темы и содержания диссертации научной специальности

Содержание диссертации соответствует заявленной специальности 6D072900 - Строительство (6D072902 - Строительные конструкции, здания и сооружения), поскольку исследование непосредственно охватывает физическое и численное моделирование, экспериментальную оценку напряженно-деформированного состояния и методы расчета железобетонных конструкций.

12. Замечания по диссертационной работе

При общей положительной оценке выполненного исследования считаю необходимым отметить следующие замечания и вопросы дискуссионного характера:

1. Экспериментальная проверка методики выполнена только для масштаба 1:4. Целесообразно было бы более чётко обосновать выбор именно данного масштаба и определить, какие положения данной методики сохраняют применимость при переходе к масштабам 1:2, 1:3, 1:5 и др.

2. С целью подтверждения универсальности комплексного коэффициента подобия желательно проверить его на независимой серии физических моделей другого масштаба. В данной работе коэффициент разрабатывается и проверяется преимущественно на одной системе «натурная балка – модель 1:4».

3. В формулу комплексного коэффициента входят текущая нагрузка модели, нагрузка трещинообразования и разрушающая нагрузка модели. Представляется не лишним дать более подробное пояснение физического смысла каждого множителя.

4. Комплексный коэффициент разработан и проверен на фактически одной и той же экспериментальной базе. Для исключения возможной самокалибровки можно порекомендовать провести независимую верификацию на дополнительной серии образцов.

5. С целью повышения универсальности результата целесообразно было бы рассмотреть возможность представления ширины раскрытия трещин в безразмерной форме, например относительно высоты сечения, длины элемента или диаметра арматуры.

6. В диссертации рассмотрены стержневой и объёмный подходы к моделированию, тогда как в заключении акцент сделан на КЭ210 для натурной и КЭ236 для модельной балки. Считаем, что вопрос, почему для итоговой оценки выбраны разные типы расчётных моделей, необходимо было раскрыть полнее.

7. В обзорной главе диссертации не в полной мере приведено описание зарубежных экспериментальных исследований.

8. Диссертация имеет некоторые технические погрешности.

Указанные замечания не носят принципиального характера и ни в коей мере не умаляют достоинство проведенного соискателем исследования и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

Таким образом, рассматриваемая диссертационная работа Махмадизода Усмонали Муродали на тему «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования» является самостоятельным и завершённым научным исследованием, выполнена на высоком профессиональном уровне, написано грамотным техническим языком и соответствует всем требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора философии (PhD) - доктора по специальности, в котором решена актуальная научно-техническая задача, имеющая значение для развития экспериментального исследования, физического и численного моделирования железобетонных конструкций.

По актуальности, научной новизне, обоснованности и достоверности результатов, научной, практической, экономической и социальной значимости, полноте опубликования основных результатов и уровню оформления диссертация соответствует требованиям Порядка присуждения учёных степеней и Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора философии (PhD) - доктора по специальности.

За разработку и экспериментальное обоснование методики физического моделирования изгибаемых железобетонных балок на основе теории подобия и размерного анализа, обоснование критериев и комплексного коэффициента подобия для переноса параметров напряженно-деформированного состояния, а также установление эмпирической зависимости для прогнозирования

трещиностойкости натурных балок по результатам модельных испытаний Махмадизода Усмонали Муродали заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) - доктора по специальности 6D072900 - Строительство (6D072902 - Строительные конструкции, здания и сооружения).

Настоящий отзыв подготовлен в соответствии с пунктами 74 и 75 Порядка присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года № 267.

Официальный оппонент: доктор технических наук, доцент Филатов Владимир Владимирович.

Научная специальность: строительная механика

Должность: директор Института цифровых технологий и моделирования в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета.

Организация: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Адрес: 111116, Москва, ул. Авиамоторная, дом 4, корп. 2, кв. 45

Телефон: +7(916) 157-83-78

E-mail: FilatovVV@mgsu.ru


В.В. ФИЛАТОВ
« 24 » августа 2026 г.

Подпись В.В. Филатова удостоверяю:


НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗ-
ВОДСТВА УРП
А. В. ПИНЕГИН
24.08.2026



Адрес НИУ МГСУ: 129337, Москва, Ярославское ш. 26,
e-mail: kanz@mgsu.ru

В диссертационный совет 6D.KOA-027 при
Таджикском техническом университете
имени академика М.С. Осими

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Хотамова Асадуллы Тоштемуровича на диссертационную работу Махмадизода Усмонали Муродали на тему: «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования», представленную на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения)

По результатам изучения диссертационной работы, автореферата и опубликованных по теме исследования научных трудов считаю возможным дать следующую оценку.

Актуальность темы диссертационного исследования

Современное строительство предъявляет повышенные требования к надежности, безопасности, долговечности и эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций. Обеспечение требуемого уровня надежности невозможно без достоверной оценки фактического напряженно-деформированного состояния конструкций, характера трещинообразования, изменения жесткости и закономерностей перехода от упругой стадии работы к нелинейному деформированию и разрушению.

Особую сложность представляет экспериментальное исследование крупноразмерных железобетонных конструкций в натурных условиях. Натурные испытания требуют значительных материальных, трудовых и технических ресурсов, специального испытательного оборудования и существенных временных затрат. В связи с этим физическое моделирование на основе положений теории подобия является важным инструментом экспериментального исследования строительных конструкций в случаях, когда проведение натурных испытаний является технически сложным или экономически нецелесообразным.

В диссертационной работе справедливо отмечается, что современные экспериментальные исследования строительных конструкций все чаще проводятся в лабораторных условиях на моделях уменьшенного масштаба. Вместе с тем достоверность переноса результатов модельных испытаний на натурную конструкцию определяется соблюдением геометрического, физического и механического подобия, правильным выбором определяющих параметров и критериев подобия, а также учетом нелинейного характера работы железобетона.

Актуальность диссертационного исследования определяется именно необходимостью совершенствования методики физического моделирования железобетонных изгибаемых элементов, обеспечивающей достоверный перенос параметров напряженно-деформированного состояния от физической модели к натурной конструкции. Автором поставлена задача не только теоретически обосновать условия масштабного перехода, но и экспериментально проверить их на сопоставлении результатов испытаний натурных и модельных железобетонных балок.

Цель исследования сформулирована как научное обоснование методики физического моделирования и экспериментальное определение критериев и коэффициентов подобия, обеспечивающих достоверный перенос параметров напряженно-деформированного состояния от модели к натурной железобетонной балке. Объектом исследования являются изгибаемые железобетонные балки, работающие при статическом

нагружении, а предметом – критерии и коэффициенты подобия, обеспечивающие достоверный перенос параметров напряженно-деформированного состояния от физической модели к натурной конструкции.

Поставленная цель последовательно реализована посредством теоретического анализа, натурных и модельных экспериментальных исследований, размерного анализа, определения критериев подобия, разработки комплексного коэффициента подобия, исследования ширины раскрытия трещин и выполнения физически нелинейного численного моделирования методом конечных элементов в ПК ЛИРА-САПР 2022.

Научная новизна диссертации и обоснованность полученных результатов

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке экспериментально обоснованной методики физического моделирования изгибаемых железобетонных элементов, позволяющей осуществлять переход от результатов модельных испытаний к параметрам работы натурной конструкции.

1. Разработана экспериментально обоснованная методика физического моделирования изгибаемых железобетонных элементов.

Автором сформирована последовательность физического моделирования, включающая выбор масштаба, определение геометрических характеристик модели, физико-механических свойств материалов, схемы армирования, граничных условий и схемы нагружения, проведение экспериментального исследования модели, анализ полученных параметров напряженно-деформированного состояния и последующий перенос результатов на натурную конструкцию на основе критериев и коэффициентов подобия.

Предложенный подход представляет интерес тем, что процесс физического моделирования рассматривается как последовательная система взаимосвязанных этапов, а достоверность результата оценивается посредством количественного сопоставления модельных и натурных данных.

2. Предложен комплексный коэффициент подобия, учитывающий нелинейный характер работы железобетонной балки.

В работе экспериментально установлено, что использование только коэффициента подобия по напряжениям не обеспечивает требуемой точности переноса результатов. При таком подходе погрешность по прогибам в отдельных стадиях работы конструкции достигает значительных значений, что свидетельствует о необходимости совместного учета силовых и деформационных параметров.

Полученные результаты показывают существенное повышение точности масштабного перехода. В частности, при использовании комплексного коэффициента подобия погрешность определения нагрузки в момент образования трещин составила 5,40 %, по прогибу – 6,27 %, а после образования трещин соответственно 3,87 % и 7,22 %.

3. Экспериментально обоснована необходимость масштабного моделирования ширины раскрытия трещин.

Одним из важных результатов работы является установление того, что предельная ширина раскрытия трещин, принимаемая для натурных железобетонных конструкций, не может механически переноситься на модель без соответствующего масштабного пересчета.

Для модели с масштабом 1:4 автором установлено, что значение 0,30 мм, принятое в качестве предельно допустимого для натурной конструкции, фактически соответствует стадии предельного состояния модельной балки. В результате предложена необходимость рассматривать ширину раскрытия трещин как самостоятельный параметр напряженно-деформированного состояния при физическом моделировании. На этой основе получена эмпирическая зависимость, согласно которой предельному значению ширины раскрытия

трещин для модельной балки соответствует 0,16 мм при погрешности относительно экспериментальных данных 5,88 %.

4. Обоснована методика физически нелинейного численного моделирования натуральных и модельных железобетонных балок.

В четвертой главе диссертации выполнено численное моделирование натурной и модельной железобетонных балок методом конечных элементов с учетом фактических физико-механических характеристик материалов. Для натурной балки использована стержневая модель с конечным элементом КЭ210, для модельной балки – объемная модель с КЭ236. Расчет выполнялся в ПК ЛИРА-САПР 2022 в физически нелинейной постановке.

Особенно следует отметить, что численные результаты сопоставлены с экспериментальными данными по прогибам и ширине раскрытия трещин, что позволило выполнить дополнительную проверку адекватности предложенных расчетных подходов.

Достоверность результатов исследования

Достоверность полученных результатов обеспечивается комплексным характером проведенного исследования.

Во-первых, в работе использованы результаты натурных испытаний трех железобетонных балок, которые рассматривались как эталонная экспериментальная база для последующей проверки масштабного перехода от модели к натурной конструкции. В ходе испытаний исследовались различные стадии работы балки – от упругой стадии и образования трещин до нелинейного деформирования и разрушения.

Во-вторых, для проведения экспериментов применялся специально оборудованный испытательный стенд, включающий динамометр, механический домкрат, распределитель нагрузки, прогибомеры часового типа и тензорезисторы для регистрации деформаций.

В-третьих, физико-механические характеристики материалов модели определялись экспериментально. Для выбранного бетона установлены средние значения кубиковой прочности 26,52 МПа, призменной прочности 18,93 МПа, модуля деформации $20,35 \cdot 10^3$ МПа, предельных относительных деформаций $2,11 \cdot 10^{-3}$ и коэффициента Пуассона 0,18.

В-четвертых, достоверность предложенного подхода подтверждалась сопоставлением результатов натурных и модельных экспериментов, а также сравнением с результатами физически нелинейного численного моделирования методом конечных элементов в ПК ЛИРА-САПР 2022.

В-пятых, результаты исследования прошли научную апробацию на Международной научно-практической конференции «Архитектура и градостроительство Таджикистана: вчера – сегодня – завтра» в 2022 году и на X Международной научно-практической конференции «Наука – основа инновационного развития» в 2025 году.

Основные положения диссертации отражены в 9 научных публикациях, из которых 5 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 1 статья опубликована в международном научном журнале, 3 работы – в материалах конференций и других научных изданиях; 6 публикаций входят в Российский индекс научного цитирования.

Совокупность указанных обстоятельств подтверждает обоснованность и достоверность основных результатов, выводов и рекомендаций диссертационной работы.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость диссертации заключается в развитии научно-методических основ физического моделирования железобетонных конструкций на основе теории подобия и размерного анализа. Автором систематизирован процесс перехода от параметров физической модели к параметрам натурной конструкции, а также предложен комплексный коэффициент подобия, учитывающий нелинейный характер работы железобетонного элемента и изменение его жесткости после образования трещин.

Практическая значимость исследования состоит в возможности применения разработанной методики при экспериментальном исследовании железобетонных конструкций, особенно в случаях, когда натурные испытания требуют значительных ресурсов или технически затруднены.

Полученные результаты могут быть использованы в научно-исследовательских и проектных организациях, экспериментальных лабораториях, а также в учебном процессе технических образовательных учреждений.

Практическую ценность также представляет технико-экономическая оценка, выполненная в рамках исследования. Согласно сметному расчету, суммарные затраты на изготовление модельных образцов составили 2,19 % от затрат на изготовление натуральных балок, что подтверждает возможность существенного сокращения материальных и трудовых затрат при проведении экспериментальных исследований.

Следует отметить и наличие результата, ориентированного на дальнейшее развитие экспериментальной базы: разработан стенд для моделирования сейсмических воздействий на физические модели зданий и сооружений, на который получен малый патент Республики Таджикистан №1453, зарегистрированный 04.12.2023 г.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа имеет логичную структуру и включает введение, общую характеристику работы, четыре главы, заключение, рекомендации по практическому использованию результатов, список литературы, список основных публикаций и приложения.

Основной текст диссертации изложен на 238 страницах, общий объем без приложений составляет 253 страницы, а с учетом приложений – 282 страницы. Работа содержит 151 рисунок, 61 таблицу и 3 приложения. Список литературы включает 132 наименования отечественных и зарубежных источников.

В первой главе выполнен обзор и анализ методов физического моделирования в экспериментальных исследованиях железобетонных конструкций, рассмотрены основы теории подобия и размерного анализа, понятие модели как инструмента научно-экспериментального исследования, а также условия геометрического, физического и механического подобия. В результате анализа обоснована необходимость совершенствования существующих подходов применительно к нелинейной работе железобетонных конструкций.

Во второй главе представлены натурные экспериментальные исследования железобетонных балок, определены физико-механические характеристики материалов, разработана методика испытаний и получена эталонная экспериментальная база для последующей проверки физического моделирования.

Третья глава является основной экспериментально-аналитической частью работы. В ней выполнено проектирование и изготовление физических моделей железобетонных балок в масштабе 1:4, проведены их испытания, исследованы процессы трещинообразования, деформирования и разрушения, выполнен переход от модельных результатов к параметрам натурной балки и разработан комплексный коэффициент подобия. В этой же главе дана технико-экономическая оценка эффективности применения модельных образцов.

В четвертой главе выполнено численное моделирование железобетонных балок методом конечных элементов. Исследованы натурная и модельная балки, использованы стержневая и объемная конечно-элементные модели, а результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными.

В целом структура диссертации соответствует поставленной цели и задачам исследования, а последовательность изложения обеспечивает логичный переход от

теоретических положений к натурному эксперименту, физическому моделированию и численной верификации.

Соответствие диссертации научной специальности

Содержание исследования относится к специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения). Предметом работы являются закономерности деформирования железобетонных балок, методы их экспериментального моделирования, критерии подобия и численные методы оценки напряженно-деформированного состояния. Решаемые задачи непосредственно связаны с линейной и нелинейной механикой строительных конструкций, разработкой физических моделей и применением конечно-элементного анализа, что соответствует профилю заявленной специальности.

Соответствие оформления диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан

Диссертация оформлена как завершенная научная работа: структура соответствует поставленным задачам, текст сопровождается необходимыми таблицами, графиками и схемами, а выводы по разделам согласуются с результатами экспериментального и численного анализа.

Автореферат отражает основное содержание диссертации, включая научную новизну, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и основные выводы. Структурных и содержательных несоответствий между диссертацией и авторефератом, способных повлиять на оценку полученных научных результатов, не установлено.

Положительные стороны диссертационной работы

К основным положительным сторонам диссертации следует отнести:

1. Тема исследования соответствует актуальной научно-практической задаче экспериментальной оценки работы железобетонных конструкций и совершенствования методов физического моделирования.
2. Работа отличается комплексным подходом, сочетающим теоретический анализ, натурные испытания, физическое моделирование и нелинейное численное моделирование.
3. В качестве эталонной базы использованы результаты натурных испытаний железобетонных балок, что позволяет непосредственно оценивать точность масштабного перехода от модели к натурной конструкции.
4. Экспериментально доказана необходимость совместного учета силовых и деформационных критериев подобия при моделировании нелинейной работы железобетонных балок.
5. Предложен комплексный коэффициент подобия, позволяющий учитывать стадийность работы железобетонной балки и изменение ее жесткости после образования трещин.
6. Отдельно исследован вопрос масштабирования ширины раскрытия трещин и получена эмпирическая зависимость для модельной железобетонной балки.
7. Выполнена численная верификация результатов физического моделирования с использованием ПК ЛИРА-САПР 2022 и фактических характеристик бетона и арматуры.
8. Проведена технико-экономическая оценка, показавшая значительное снижение затрат при использовании физических моделей.
9. Результаты исследования получили апробацию в научном сообществе и отражены в 9 научных публикациях, а разработка испытательного стенда для моделирования сейсмических воздействий получила патентную защиту.

Замечания и предложения по диссертационной работе

Высоко оценивая научную и практическую значимость выполненного исследования, считаю необходимым высказать следующие замечания и предложения, которые могут быть учтены при дальнейшем развитии данного научного направления:

1. Следовало бы более четко определить область применимости предложенного комплексного коэффициента подобия.

Основные экспериментальные исследования выполнены на изгибаемых железобетонных балках при статическом нагружении и масштабе физического моделирования 1:4. В связи с этим целесообразно было бы более подробно обозначить границы применения полученного коэффициента для других конструктивных схем, размеров сечений, классов бетона, уровней армирования, а также для динамических и сейсмических воздействий.

2. Желательно было бы расширить статистическую оценку результатов экспериментальных исследований.

В работе широко используются средние экспериментальные значения и относительные погрешности. Для дальнейшего повышения доказательности методики целесообразно дополнительно представить стандартное отклонение, коэффициент вариации, доверительные интервалы и другие статистические показатели для основных контролируемых параметров.

3. Требуется дополнительного внимания влияние отличия фактической площади арматуры модели от теоретически масштабированной площади.

При проектировании модели расчетная площадь рабочей арматуры масштабируется в соответствии с принятыми критериями подобия, однако фактический диаметр арматуры модели выбирается с учетом технологических и конструктивных возможностей. Дополнительная оценка чувствительности результатов к данному различию позволила бы еще более полно обосновать точность масштабного перехода.

4. Желательно было бы более четко разграничить теоретический и эмпирический подходы к масштабированию ширины раскрытия трещин.

В диссертации убедительно показана необходимость отдельного учета данного параметра и предложена эмпирическая зависимость. Вместе с тем более подробное сопоставление границ применимости теоретического и экспериментально полученного подходов позволило бы сделать методические рекомендации более универсальными.

5. При анализе результатов численного моделирования целесообразно было бы использовать единый интегральный критерий оценки согласования расчетных и экспериментальных данных.

В диссертации приведено подробное сопоставление прогибов, нагрузок и ширины раскрытия трещин. Однако применение единого количественного критерия, например среднеквадратической ошибки или среднего абсолютного отклонения, позволило бы более компактно оценить общую степень адекватности численной модели.

6. Технико-экономическую оценку можно было бы расширить до полного цикла экспериментальных исследований.

В работе убедительно показано, что затраты на изготовление модельных образцов составляют 2,19% от затрат на изготовление натуральных балок. Вместе с тем при дальнейшем развитии методики целесообразно учитывать также эксплуатационные затраты испытательного оборудования, трудоемкость проведения испытаний, обработку экспериментальных данных и затраты на численное моделирование.

7. В используемых литературных источниках мало уделено электронным ресурсам, что в современных условиях является необходимым атрибутом научных работ.

Перечисленные замечания не снижают научной ценности диссертационной работы и не ставят под сомнение обоснованность основных полученных результатов. Они имеют преимущественно характер рекомендаций по дальнейшему развитию и расширению предложенной методики физического моделирования.

Заключение

В целом диссертационная работа **Махмадизода Усмонали Муродали на тему «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования»** представленной на соискание учёной степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения) является самостоятельным завершённым исследованием, в котором решена актуальная научно-техническая задача экспериментального обоснования масштабного перехода от физических моделей к натурным железобетонным конструкциям, выполненным на высоком теоретическом и методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения учёных степеней, утверждённых постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.06.2021 года, № 267, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения).

Настоящий отзыв подготовлен в соответствии с пунктами 74 и 75 Порядка присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года № 267.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, проф. Хотамов Асадулла Тоштемирович

Должность: заведующий кафедрой «Городская инфраструктура»

Ташкентского архитектурно-строительного университета, Республика Узбекистан

Научная специальность: 05.09.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

г.Ташкент, Алмазарский район, массив К/Камиш 2/1, 4 дом, 36 кв.

_____ А.Т. Хотамов
« ____ » _____ 2026 г.

Адрес организации: [100194 , улица Янгишахар 9А, город Ташкент, Юнусабадский район]

Телефон: +99897 707 48 16

E-mail: a.xotamov@taqu.uz

[Хотамов Асадулла Тоштемирович] заверяю:

[Начальник отдела управления человеческими ресурсами]

[Ташкентского архитектурно-строительного университета]

[Норкобилов Жахонгир Шабонович]
« ____ » _____ 2026 г.

