

О Т З Ы В

**на автореферат диссертации Махмадизода Усмонали Муродали на тему:
«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
БАЛОК МЕТОДАМИ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»,
представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) –
доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 –
Строительные конструкции, здания и сооружения)**

Диссертационная работа представляет собой исследование, в котором экспериментальные данные натурных и модельных железобетонных балок рассмотрены совместно с методами теории подобия, размерного анализа и физически нелинейного конечно-элементного моделирования. Подобная интеграция методов соответствует современному подходу к верификации расчетных моделей строительных конструкций и позволяет оценивать достоверность полученных результатов на основе совокупности независимых подтверждений.

Актуальность работы связана с необходимостью получения надежной прогнозной оценки поведения натурных железобетонных элементов по результатам менее затратных модельных экспериментов. Для изгибаемых железобетонных балок эта задача особенно сложна вследствие формирования трещин, перераспределения напряжений и последовательного снижения жесткости, поэтому разработка критериев перехода по стадиям работы конструкции имеет самостоятельное научное значение.

Методическая последовательность исследования представлена обоснованной. Сначала натурным экспериментом установлены фактические параметры работы балок; затем проведены испытания моделей в масштабе 1:4, после чего выполнен перенос параметров по критериям подобия и выполнена численная проверка. Такая структура обеспечивает связь между исходным экспериментальным материалом и итоговыми расчетно-прогнозными зависимостями.

Достоверность результатов усиливается тем, что сравнение проведено на нескольких стадиях деформирования. Использование комплексного

коэффициента подобия позволило получить погрешности 5,40 % по нагрузке и 6,27 % по прогибу в момент образования трещин, 3,87 % и 7,22 % соответственно, после трещинообразования, а также 4,6 % по эквивалентному изгибающему моменту. Для экспериментального исследования сложной неоднородной системы, такие значения свидетельствуют о достаточно устойчивой воспроизводимости масштабного перехода.

Важным результатом является включение ширины раскрытия нормальных трещин в систему проверяемых параметров. Автором не используется формальный перенос абсолютного значения трещины, а устанавливается эквивалентное модельное состояние. Для масштаба 1:4 определено значение 0,16 мм, соответствующее принятому предельному уровню натурной конструкции; отклонение от экспериментальных данных составило 5,88 %, что позволило рассматривать предлагаемую методику не только с позиции прочности, но и с позиции эксплуатационной пригодности.

Следует отметить также численную часть работы. Физически нелинейные модели в ПК ЛИРА-САПР 2022 построены с учетом фактических характеристик материалов, полученных экспериментально. Такое решение обеспечивает содержательную связь между физическим и вычислительным экспериментом. Численная модель не выступает самостоятельным источником исходных предпосылок, а используется для проверки и интерпретации наблюдаемого поведения конструкции.

Научная новизна исследования определяется разработкой экспериментально обоснованной методики физического моделирования, предложением комплексного коэффициента подобия и установлением эмпирической зависимости для масштабной оценки трещиностойкости. Важным является то, что эти результаты объединены в единую систему, предназначенную для перехода от результатов модельных испытаний к параметрам натурной балки от упругой стадии до стадии разрушения.

Практическое применение результатов возможно при верификации расчетных моделей, подготовке программ лабораторных испытаний и

экспериментальном исследовании элементов, для которых проведение полномасштабных испытаний затруднено. Наличие 9 публикаций по теме, включая 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, свидетельствует о достаточной апробации основных научных результатов.

Наряду с достоинствами по диссертации имеются следующие замечания:

1. В работе приведены полученные автором значения коэффициентов подобия при переносе характеристик НДС с моделей на натуральные балки. Проводился ли сопоставительный анализ полученных коэффициентов с ранее полученными данными других исследователей?

2. Будут ли меняться полученные значения коэффициентов подобия при изменении класса применяемого бетона / арматуры?

3. В работе отсутствует наглядный (табличный) сопоставительный анализ полученных результатов экспериментальных данных с результатами выполненного численного моделирования.

Указанные замечания не снижают общей научной ценности и достоверности рассмотренных вопросов в диссертационной работе и могут быть учтены соискателем в дальнейших научных исследованиях.

Рассматриваемый автореферат представляет собой целостное научный труд, рассматривающий важное научное направление и включающий экспериментальное и теоретическое исследования.

По результатам исследований и научной направленности диссертация соответствует специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения).

В целом, рассматриваемая диссертационная работа соответствует специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения), а ее автор - Махмадизода Усмонали Муродали - заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения)

Старший научный сотрудник лаборатории
«Сейсмостойкость зданий и сооружений»
Института геологии, сейсмостойкого
строительства и сейсмологии
Национальной академии наук Таджикистана
(ИГССС НАНТ)

кандидат технических наук, доцент

«24» 08 2026 г.



Рахманов А.А.

Адрес организации:

734063, Республика Таджикистан,

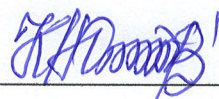
Г. Душанбе, ул. Айни, 267 Тел.: 37225-77-69

E-mail: igees_asrt@mail.ru

Подпись Рахманова Азима Абдуллаевича заверяю.



Начальник Отдела кадров Института геологии
сейсмостойкого строительства и сейсмологии
Национальной академии наук Таджикистана
(ИГССС НАНТ)



/ Караматуллои Юсуф /

«24» 08 2026 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Махмадизода Усмонали Муродали на тему «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения)

Автореферат диссертации Махмадизода Усмонали Муродали отражает комплексное исследование, в котором физический эксперимент сочетается с методами теории подобия и нелинейного конечно-элементного анализа. Такой подход соответствует современному направлению развития расчетно-экспериментальных методов исследования строительных конструкций, когда численная модель должна не заменять эксперимент, а проходить проверку по фактическим данным.

В работе исследуются натурные и модельные железобетонные балки, испытываемые при статическом нагружении. Основная задача заключается в получении достоверных соотношений, позволяющих переносить параметры напряженно-деформированного состояния с модели масштаба 1:4 на натурную конструкцию. При этом автор учитывает изменение жесткости после трещинообразования и различие физико-механических характеристик материалов, что особенно важно для железобетона как физически нелинейной системы.

Научную значимость имеет разработанный комплексный коэффициент подобия. Его применение обеспечивает перенос нагрузок, изгибающих моментов и прогибов по стадиям работы конструкции. Средние погрешности, приведенные в автореферате, не превышают величин, характерных для экспериментальных исследований подобного типа: 5,40 % и 6,27 % по нагрузке и прогибу в момент образования трещин, 3,87 % и 7,22 % после трещинообразования и 4,6 % по эквивалентному изгибающему моменту.

Дополнительным результатом является масштабный учет ширины раскрытия нормальных трещин. Для модели масштаба 1:4 установлено эквивалентное значение 0,16 мм при отклонении 5,88 % от экспериментальных данных. Это позволяет оценивать не только общую несущую способность, но и параметры второго предельного состояния, что существенно расширяет область применения физического моделирования.

Четвертая глава диссертации, отраженная в автореферате, посвящена физически нелинейному конечно-элементному моделированию натуральных и модельных балок в ПК ЛИРА-САПР 2022. В расчетах используются фактические характеристики бетона и арматуры. Сопоставление численных и экспериментальных зависимостей подтверждает применимость выбранных расчетных моделей и позволяет интерпретировать различия, возникающие на стадиях трещинообразования и дальнейшего нелинейного деформирования.

Положительно следует оценить методологическую роль численного анализа в работе. Он применяется после получения натуральных и модельных экспериментальных данных и служит дополнительным средством верификации. Такой порядок исключает подмену физического результата расчетным и соответствует требованиям к достоверности численного моделирования железобетонных конструкций.

Практическая значимость результатов связана с возможностью использовать модельные испытания при калибровке конечно-элементных моделей и при исследовании конструктивных элементов, полномасштабные испытания которых требуют значительных затрат. Результаты могут применяться в научно-исследовательских организациях, проектных институтах, испытательных лабораториях и учебном процессе.

По автореферату диссертации имеются следующие замечания:

1. Экспериментальная проверка разработанной методики выполнена для одного масштаба моделирования 1:4, одной схемы армирования и нагружения. В автореферате недостаточно обозначены границы применимости разработанной методики при других масштабах моделирования, схемах армирования и нагружения.

2. Требуется дополнительное обоснование влияния принятого в модели армирования $\varnothing 10$ мм вместо расчетной эквивалентной площади арматуры на жесткость и трещинообразование балки.

3. Следовало бы уточнить порядок практического определения и применения комплексного коэффициента подобия, включающего разрушающую нагрузку модельной балки.

4. Для более полной оценки достоверности результатов желательно привести статистические показатели разброса экспериментальных данных.

Указанные замечания не снижают научной новизны и практической значимости работы и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Основные положения диссертации нашли отражение в 9 научных публикациях, в том числе в 5 статьях в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Автореферат достаточно полно характеризует содержание и результаты работы. Считаю, что диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к работам по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения), а Махмадизода Усмонали Муродали заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по указанной специальности.

доктор технических наук,
(05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения),
профессор Международного университета инновационных технологий,
президент Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству

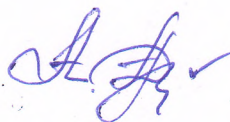


Бегалиев Улугбек Турдалиевич
17 августа 2026г.

Адрес организации: 720048, Кыргызская Республика, Бишкек, мкрн. Джал-29, д.4/1
Тел.: +996 705 908 941, +996 559 888 771
E-mail: seismokg@mail.ru

Подпись Бегалиева Улугбека Турдалиевича заверяю

Инспектор по работе с персоналом Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству



Дуйшокоева А.А.
17.08.2026г.

М.П.



ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ

Махмадизода Усмонали Муродали на тему «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения)

Диссертационная работа посвящена актуальной научно-технической задаче совершенствования расчетно-экспериментальных методов исследования изгибаемых железобетонных конструкций на основе физического моделирования, теории подобия и физически нелинейного конечно-элементного анализа. Научная значимость исследования обусловлена необходимостью достоверного учета стадийности работы железобетона, трещинообразования, изменения жесткости и неупругого деформирования материалов.

Исследование выполнено последовательно: натурные испытания приняты как эталонная база, модели масштаба 1:4 используются для обоснования масштабного перехода, а численное моделирование – для дополнительной проверки выявленных закономерностей. Такой подход обеспечивает согласованную оценку экспериментальных и расчетных параметров напряжённо-деформированного состояния.

Особое место занимает четвертая глава «Численное моделирование железобетонной балки методом конечных элементов», выполненная в ПК «ЛИРА-САПР 2022». Расчеты проведены с учетом физической нелинейности бетона и арматуры, а исходные диаграммы деформирования сформированы по фактическим характеристикам контрольных образцов. Это непосредственно связывает расчетные предпосылки с условиями натурных и модельных испытаний.

Для натурной балки применена физически нелинейная стержневая модель с КЭ210 и методом последовательных приближений; для модельной балки – объемная модель КЭ236 с методом последовательных нагружений. Такое сочетание позволяет, с одной стороны, оценивать интегральную работу изгибаемого элемента,

а с другой – детализировать распределение напряжений, деформаций и развитие трещинообразования.

Существенным достоинством является верификация не только по предельной несущей способности, но и по деформативности, напряженному состоянию и параметрам трещинообразования на различных стадиях нагружения. В автореферате показано согласование расчетных и экспериментальных зависимостей прогиба и ширины раскрытия трещин от нагрузки, что повышает информативность численного анализа.

Методологически обоснованным является использование численного моделирования как средства проверки и интерпретации физического эксперимента. Результаты четвертой главы непосредственно связаны с основной задачей диссертации – достоверным переходом от физической модели к натурной конструкции; численным методом дополнительно подтверждена применимость установленной зависимости для прогнозирования ширины раскрытия нормальных трещин.

Таким образом, натурный эксперимент, физическая модель и конечно-элементный расчет образуют единую систему верификации. Применение КЭ210 и КЭ236 с учетом фактических характеристик материалов подтверждает возможность использования ПК «ЛИРА-САПР 2022» для анализа физически нелинейной работы железобетонных элементов и сопоставления расчетных результатов с экспериментальными данными. Четвертая глава логически завершает исследование и имеет самостоятельное верификационное значение.

При общей высокой оценке работы следует отметить следующие замечания научно-методического характера.

1. Целесообразно подробнее раскрыть особенности задания физически нелинейных характеристик бетона и арматуры в ПК «ЛИРА-САПР 2022»

2. Целесообразно более подробно обосновать выбор стержневой и объёмной расчетных моделей применительно к решаемым задачам исследования.

3. В автореферате целесообразно было бы более четко показать влияние принятого типа конечного элемента на точность определения параметров напряжённо-деформированного состояния исследуемых балок.

Высказанные замечания имеют научно-дискуссионный характер и не снижают общей высокой оценки выполненного исследования.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, экспериментальные результаты и их численную верификацию. Работа является самостоятельным завершённым исследованием с научно обоснованными результатами в области физического и численного моделирования железобетонных конструкций.

По содержанию и научной направленности диссертация соответствует специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения), а Махмадизода Усмонали Муродали заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по указанной специальности.

Доктор технических наук по специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения»,
директор ООО «ЛИРА САПР»,
профессор



[Барабаш Мария Сергеевна]

«_24_» августа 2026 г.

Адрес организации: [04053, Украина, Киев, Кияновский переулок, 7А]

Тел.: [+38 (044) 590 58 85]

E-mail: [info@liraland.ua]



М.П.

Review on the Abstract of Doctoral Dissertation

Reviewed Object

Applicant: Makhmadizoda Usmonali Murodali

Dissertation Title: Experimental Studies of Reinforced Concrete Beams Using Physical Modelling Methods

Degree Applied: Doctor of Philosophy (PhD)

Specialty Code and Name: 6D072900 Construction (6D072902 Structural Engineering, Buildings and Structures)

Obtaining the stress-strain state parameters of full-scale structures through reduced-scale physical model tests is an important approach in experimental research on engineering structures. However, the heterogeneity of reinforced concrete materials, cracking, changes in section stiffness after cracking, and the physically nonlinear nature of deformation in concrete and reinforcement make geometric similarity alone insufficient to ensure the reliable transfer of stress-strain state parameters from model specimens to full-scale structures. This dissertation systematically addresses this key issue, focusing on the scientific substantiation and experimental implementation of a methodology for physical modelling of reinforced concrete flexural members. The research is of clear academic value and engineering significance for improving physical modelling methods for reinforced concrete structures and enhancing the credibility of transferring model test results to full-scale structures.

Based on the theory of similarity and dimensional analysis, the dissertation establishes a methodological system for physical modelling of reinforced concrete beams, and determines the similarity coefficients and similarity criteria for the transition from the parameters of model specimens to those of full-scale structures in terms of load, bending moment, deflections, strains, and crack opening width. The study establishes the regularities of changes in the stress-strain state of full-scale and model reinforced concrete beams under static loading, covering all stages: elastic behaviour, cracking, development of deformations, and failure.

The academic novelty of the dissertation is mainly reflected in the following aspects:

1. A complex similarity coefficient is proposed and substantiated. This coefficient takes into account not only geometric relationships but also differences in the moduli of materials, the physically nonlinear nature of concrete and reinforcement deformation, changes in section stiffness after cracking, and the staged behaviour of a flexural reinforced concrete element. As a result, the scale transfer can reflect the full-range behaviour of the member from elasticity, cracking, and development of deformations through to failure.

2. The necessity of considering the scale effect of crack opening width is experimentally substantiated. The dissertation treats the scale effect of crack opening width as one of the determining parameters of the stress-strain state of reinforced concrete beams in physical modelling, and proposes an empirical relationship for determining the crack opening width of a full-scale reinforced concrete beam based on the test results of a model specimen. This relationship takes into account the criterion of force similarity and the geometric scaling coefficient.

3. The regularities of staged changes in the stress-strain state of full-scale and model beams are established. The research systematically presents the regularities of changes in the stress-strain state of both types of beams under static loading at each stage—elastic behaviour, cracking, development of deformations, and failure—thereby providing a basis for staged scale transfer.

The reliability of the research results is well confirmed: the full-scale test results are taken as the benchmark, and all measured mechanical property parameters of concrete and reinforcement are adopted. Comparative tests on full-scale beams and model beams are completed, enabling reverse verification of the accuracy of the scale transfer method, which is further verified using the method of physically nonlinear numerical modelling in the LIRA-SAPR 2022 software package.

The research results have clear practical value: the developed methodology can be used for experimental studies of reinforced concrete structures using physical models, for assessing their stress-strain state, crack resistance, and deformability, as well as for the verification of numerical models. It is applicable to research, design, and educational organisations in the field of construction.

Shortcomings and Suggestions:

1. The abstract does not explicitly specify the geometric scaling coefficient of the model specimens or the value ranges of key test parameters such as concrete strength grade and reinforcement ratio. It is recommended that these be clarified during the defence so as to facilitate assessment of the applicability scope of the research results.

2. The numerical modelling employs only a single software package for result comparison, and it appears that more refined constitutive models—such as bond-slip between reinforcement and concrete and concrete damage evolution—have not been considered. It is recommended that the limitations of this study be appropriately discussed in the conclusion chapter.

The above comments are local and improvement-oriented suggestions, which do not diminish the academic value and practical significance of the dissertation, nor do they affect the overall positive evaluation of the research work.

The abstract of this dissertation systematically and completely presents the core content of the degree thesis, reflecting the scientific novelty, result reliability, and practical value of the research. The dissertation meets the basic requirements for applying for the doctoral degree defence in this specialty, and it is recommended that the applicant be permitted to proceed to the defence.

Reviewer Information

Name: Huiting Gao
Doctor of Engineering Materials
Professor, Department of Civil Engineering
College of Construction Engineering, Jilin University
Academic Title: Professor

Address: Room 221, Shuigong Building, No. 6 Ximinzhu Street, Changchun, Jilin 130026, China

Tel: (+86) 0431-88502353

E-mail: gaoht@jlu.edu.cn

Signature Certification

I hereby certify that the reviewer's signature is authentic.

Position of Certifying Officer

College of Construction Engineering, Jilin University

Huiting Gao (Full Name)

Signature

Date: August 12, 2026

Отзыв на автореферат докторской диссертации

Рецензируемый объект

Соискатель: Махмадизода Усмоннали Муродали

Название диссертации: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК МЕТОДАМИ ФИЗИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ

Соискемая степень: доктор философии (PhD)

Шифр и наименование специальности: 6D072900 – Строительство
(6D072902 – Строительная механика, здания и сооружения)

Получение параметров напряжённо-деформированного состояния (НДС) натуральных конструкций по результатам испытаний их физических моделей в уменьшенном масштабе является важным подходом в экспериментальных исследованиях инженерных сооружений. Однако неоднородность железобетонных материалов, возникновение и развитие трещин, снижение жёсткости сечения после образования трещин, а также физическая нелинейность деформирования бетона и арматуры обуславливают тот факт, что одного лишь геометрического подобия недостаточно для обеспечения достоверного пересчёта результатов с модели на натуру. В настоящей диссертационной работе систематически решается указанная ключевая проблема, при этом основное внимание уделяется научному обоснованию и экспериментальной реализации методов физического моделирования изгибаемых железобетонных элементов. Исследование представляет несомненную академическую ценность и имеет важное инженерное значение для совершенствования методик физического моделирования железобетонных конструкций и повышения достоверности переноса результатов модельных испытаний на натурные объекты.

На основе теории подобия и анализа размерностей в диссертации разработана методологическая система физического моделирования железобетонных балок и определены коэффициенты и критерии подобия для пересчёта параметров напряжённо-деформированного состояния (НДС) — включая нагрузку, изгибающий момент, прогиб, деформации и ширину раскрытия трещин — с модельных образцов на натурные конструкции. В работе выявлены закономерности изменения напряжённо-деформированного состояния натуральных и модельных железобетонных балок при статическом нагружении, охватывающие все этапы: упругое поведение, образование трещин, развитие деформаций и разрушение.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Предложен и обоснован комплексный коэффициент подобия, учитывающий не только геометрические соотношения, но и различия в модулях упругости материалов, физическую нелинейность деформирования бетона и арматуры, изменение жёсткости сечения после образования трещин, а также этапность работы изгибаемых железобетонных элементов. Благодаря этому пересчёт масштаба позволяет отражать полный цикл работы элемента — от упругой стадии, трещинообразования и развития деформаций вплоть до разрушения.

2. Экспериментально обоснована необходимость учёта масштабного эффекта применительно к ширине раскрытия трещин. В диссертации масштабный эффект ширины раскрытия трещин рассматривается как один из определяющих параметров напряжённо-деформированного состояния железобетонных балок при физическом моделировании, и предложена эмпирическая зависимость для оценки ширины раскрытия трещин натуральных балок по результатам испытаний модельных образцов, учитывающая одновременно силовой критерий подобия и геометрический масштабный коэффициент.

3. Установлены этапные закономерности изменения напряжённо-деформированного состояния натуральных и модельных балок. В работе систематически представлены закономерности изменения НДС обеих групп балок при статическом нагружении на каждом из этапов — упругом, трещинообразования,

развития деформаций и разрушения, — что создаёт основу для поэтапного пересчёта масштабных коэффициентов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается следующим: в качестве эталонных приняты результаты испытаний натуральных образцов, использованы все измеренные механические характеристики бетона и арматуры. Проведены сравнительные испытания натуральных и модельных балок, что позволило выполнить обратную верификацию точности методики пересчёта масштаба; полученные результаты дополнительно подтверждены нелинейным конечно-элементным моделированием.

Результаты исследований имеют выраженную практическую ценность: предложенная методика может быть использована для разработки схем и пересчёта результатов модельных испытаний железобетонных элементов, а также для калибровки и верификации численных моделей. Она применима в научно-исследовательских институтах, испытательных лабораториях, а также в учебно-педагогической работе строительных вузов.

Замечания и предложения:

1. В автореферате не указан конкретный геометрический масштаб модельных образцов, а также диапазоны значений ключевых параметров испытаний, таких как класс бетона по прочности и коэффициент армирования. Рекомендуется уточнить эти параметры в ходе защиты для облегчения оценки границ применимости полученных результатов.

2. При численном моделировании использовано только одно программное обеспечение для сопоставления результатов, и, судя по содержанию, не рассматривались более уточненные определяющие соотношения, такие как сцепление арматуры с бетоном и эволюция повреждений бетона. Рекомендуется в заключительной главе диссертации должным образом обсудить ограничения проведённого исследования.

Вышеуказанные замечания носят частный и рекомендательный характер, не снижают академической ценности и практической значимости диссертации и не влияют на общую положительную оценку выполненной работы.

Автореферат диссертации систематически и полно отражает основное содержание диссертационной работы, демонстрирует научную новизну, достоверность результатов и практическую ценность исследования. Диссертация соответствует основным требованиям, предъявляемым к защите докторской диссертации по данной специальности, и рекомендуется допустить соискателя к защите.

Сведения о рецензенте

Доктор технических наук по специальности «Строительные материалы»
Профессор кафедры гражданского строительства
Инженерно-строительный колледж Цзилиньского университета
Учёное звание: профессор

Гао Хуйтин

Дата: 19 августа 2026 г.

Адрес: Китай, провинция Цзилинь, г. Чанчунь, ул. Симиньчжу, д. 6, здание
«Шуйгун», комната 221, почтовый индекс 130026

Тел.: (+86) 0431-88502353

E-mail: gaoht@jlu.edu.cn

Заверение подписи

Настоящим подтверждаю, что подпись рецензента является подлинной.

Должность удостоверяющего лица: представитель Инженерно-строительного колледжа Цзилиньского университета

Huiting Gao (Full Name)

Signature

Date: 19. 08, 2026

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ

Махмадизода Усмонали Муродали на тему «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения)

Диссертационная работа Махмадизода Усмонали Муродали посвящена решению актуальной научно-технической задачи, связанной с развитием методологических основ физического моделирования изгибаемых железобетонных конструкций и обоснованием достоверного перехода от результатов экспериментальных исследований геометрически подобных моделей к параметрам напряжённо-деформированного состояния натуральных элементов.

Актуальность выбранного направления определяется необходимостью совершенствования экспериментальных методов исследования железобетонных конструкций, работа которых характеризуется сложным сочетанием упругих и неупругих деформаций, процессами трещинообразования, изменением жесткости поперечного сечения и перераспределением внутренних усилий в процессе нагружения. При этом проведение полномасштабных испытаний связано со значительными материальными и техническими затратами. В этой связи разработка научно обоснованных методов физического моделирования, позволяющих получать достоверную информацию о поведении натуральных конструкций по результатам испытаний уменьшенных образцов, представляет несомненный научный и практический интерес.

Методологическую основу исследования составляют положения теории подобия и размерного анализа, примененные автором для обоснования условий сопоставимости модельных и натуральных железобетонных балок. Существенным

достоинством работы является то, что физическое моделирование рассматривается не только с позиции соблюдения геометрического масштаба, но и с учетом различий физико-механических характеристик материалов, особенностей армирования, стадийности деформирования и изменения жесткости железобетонного элемента после образования трещин.

Экспериментальная часть диссертации построена на последовательном исследовании натуральных и модельных железобетонных балок. Результаты испытаний натуральных образцов используются в качестве эталонной экспериментальной базы для последующей оценки достоверности масштабного перехода. Такой подход позволяет непосредственно сопоставлять параметры напряжённо-деформированного состояния конструкций в сходственных стадиях их работы и тем самым объективно оценивать эффективность предлагаемых критериев подобия.

Заслуживает положительной оценки комплексный характер экспериментального контроля, предусматривающий регистрацию нагрузок, изгибающих моментов, прогибов, деформаций бетона и арматуры, а также параметров образования и раскрытия нормальных трещин. Рассмотрение совокупности указанных характеристик позволяет оценивать адекватность физического моделирования не по единичному показателю, а по системе взаимосвязанных параметров, определяющих фактическую работу изгибаемого железобетонного элемента.

Научно значимым результатом исследования является обоснование комплексного коэффициента подобия, предназначенного для учета изменения механического состояния конструкции в процессе нагружения. Необходимость такого подхода обусловлена тем, что после образования трещин существенно изменяются жесткостные характеристики железобетонного сечения и характер зависимости между нагрузкой и деформациями. Учет указанной стадийности

позволяет повысить точность переноса параметров от модельной балки к натурной конструкции в пределах от упругой стадии до стадии разрушения.

Особого внимания заслуживает исследование трещиностойкости. В работе показано, что непосредственное использование для физической модели абсолютного значения предельной ширины раскрытия трещин, установленного для натурной конструкции, не обеспечивает соответствия сходственным механическим состояниям элементов. В связи с этим автором выполнено отдельное исследование данного параметра и установлена эмпирическая зависимость между шириной раскрытия нормальных трещин в модельных и натуральных железобетонных балках. Такой подход расширяет возможности физического моделирования, поскольку позволяет осуществлять масштабный переход не только по показателям прочности и деформативности, но и по параметрам, характеризующим эксплуатационную пригодность конструкции.

Научная ценность полученных результатов заключается также в установлении количественной оценки точности предлагаемого масштабного перехода. Сопоставление прогнозируемых и экспериментальных параметров позволяет непосредственно оценивать степень соответствия модельной и натурной конструкций на характерных стадиях нагружения. Это повышает доказательность сформулированных научных положений и обеспечивает объективную оценку эффективности разработанной методики.

Значимым дополнением к физическому эксперименту является выполненное автором численное исследование железобетонных балок с использованием программного комплекса ЛИРА-САПР 2022 в физически нелинейной постановке. Применение фактических физико-механических характеристик бетона и арматуры позволяет приблизить расчетные модели к условиям экспериментальных испытаний. Сопоставление результатов численного и физического моделирования формирует дополнительный уровень верификации и способствует более глубокому анализу закономерностей деформирования исследуемых конструкций.

По материалам автореферата можно заключить, что поставленная цель исследования достигнута, основные задачи последовательно решены, а сформулированные научные положения находятся в логической взаимосвязи с результатами экспериментальных и численных исследований. Автореферат содержит необходимую информацию о научной новизне, достоверности результатов, практической значимости работы и основных выводах диссертации.

Вместе с тем по содержанию автореферата представляется целесообразным отметить следующие положения дискуссионного характера.

1. При формировании комплексного коэффициента подобия автор учитывает изменение напряжённно-деформированного состояния железобетонного элемента в процессе нагружения. Вместе с тем в автореферате было бы целесообразно более развернуто раскрыть физико-механическое обоснование перехода между отдельными характерными стадиями работы конструкции и показать вклад каждого учитываемого параметра в изменение значения комплексного коэффициента подобия.

2. Экспериментальная проверка предлагаемого подхода выполнена для железобетонных балок конкретного конструктивного исполнения, геометрического масштаба и схемы статического нагружения. В связи с этим в автореферате следовало бы более четко сформулировать границы экспериментально подтвержденной области применимости разработанных критериев подобия, а также обозначить условия, требующие дополнительной верификации при изменении масштаба, схемы армирования или характера внешнего воздействия.

Указанные замечания имеют научно-дискуссионный и уточняющий характер, не затрагивают существа выполненного исследования, не снижают научной новизны, достоверности и практической значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

В целом автореферат достаточно полно и последовательно отражает основное содержание диссертации, позволяет оценить методологию исследования, объем

проведенных экспериментальных и численных работ, научную новизну, степень обоснованности полученных результатов и их практическую значимость.

Диссертационная работа Махмадизода Усмонали Муродали по содержанию и научной направленности соответствует специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) по указанной специальности.

Кандидат технических наук

2.1.1 – Строительные конструкции,
здания и сооружения

Доцент каф. «Железобетонные и
каменные конструкции»,

ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Московский
государственный строительный
университет»

Кудрявцев Максим Владимирович
«26» августа 2026 г.

Адрес организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Тел.: +7 (495) 781-80-07

E-mail: kanz@mgsu.ru

Подпись Кудрявцева Максима Владимировича заверяю:

Начальник ОКД

26.08.2026



Пинегин А.В.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Махмадизода Усмонали Муродали по теме «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)

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырёх глав, заключения, рекомендаций по практическому использованию результатов, списка литературы, списка основных публикаций по теме диссертации и приложений. Основной текст диссертации до списка литературы изложен на 238 страницах. Общий объём диссертации без учёта приложений составляет 253 страницы, с учётом приложений – 282 страницы. Работа содержит 151 рисунок, 61 таблицу и 3 приложения. Список литературы включает 132 наименования трудов отечественных и зарубежных авторов.

Представленная диссертация посвящена разработке методики физического моделирования железобетонных балок с использованием положений теории подобия и размерного анализа. Работа отличается значительным объемом экспериментального исследования, четко структурирована и имеет выраженную практическую направленность. Автором выполнены натурные и модельные испытания железобетонных балок, предложены критерии подобия и выполнена их проверка посредством конечно-элементного моделирования. Вместе с тем при детальном научном анализе выявляется ряд методологических, теоретических и практических недостатков, которые существенно ограничивают научную новизну и область применения полученных результатов.

Степень научной новизны

Основное положение диссертации основано на использовании классической теории подобия, разработанной Ньютоном, Бертраном, Кирпичевым, Гухманом и Букингом. Практически весь математический аппарат первой главы представляет собой изложение известных положений геометрическое подобие, динамическое подобие, кинематическое подобие, π -теорема Букингема, анализ размерностей. Данные положения являются фундаментальными и давно используются в строительной механике. В данной диссертации отсутствует принципиально новая теория подобия либо новый математический аппарат. Следовательно, научная новизна заключается главным образом в прикладной реализации известных методов, а не в развитии самой теории.

По структуре диссертации

Первая глава посвящена изложению общих положений теории подобия. При этом большая часть (треть) главы занимает материалы учебного характера определения, классификации, общеизвестные формулы. Для диссертации целесообразно более лаконичное изложение

общеизвестных теоретических положений с акцентом на полученные результаты и личный научный вклад автора.

Объект исследования

Все исследования выполнены исключительно для изгибаемых железобетонных балок. При этом отсутствуют исследования железобетонных плит, колонн, пространственных систем, конструкций при комбинированном напряженном состоянии. Область применения предложенной методики весьма ограничена. Распространение полученных результатов на другие конструкции в работе не отражено.

Статистическая обработка результатов

Работа содержит многочисленные экспериментальные исследования. Однако практически отсутствуют: коэффициенты вариации, статистические критерии, оценка неопределенности измерений, вероятностный анализ. В современной экспериментальной механике подобная статистическая обработка считается обязательной.

Вопросы по нелинейности железобетона

Железобетон представляет собой сложный композиционный материал. В работе недостаточно исследованы деградация бетона, накопление повреждений, влияние циклического нагружения, влияние ползучести, усадка, влияние возраста бетона, влияние длительного нагружения. Следовательно, применение предложенной методики для долговременных процессов остается недостаточно обоснованным.

Анализ международных исследований

Обзор литературы содержит большое количество источников. Однако практически отсутствует анализ современных исследований последних лет «Engineering Structures», «Structural Concrete», «Cement and Concrete Composites», «ACI Structural Journal», «Journal of Structural Engineering (ASCE)». Автором недостаточно раскрыта взаимосвязь выполненных исследований с современными международными научными разработками в данной области.

Практическая апробация

Автор заявляет возможность практического применения разработанной методики. Однако в работе отсутствуют Акты внедрения или сведения о внедрении в проектных организациях, использовании при проектировании, применении в строительных нормах, использовании при обследовании зданий и сооружений. Практическая эффективность методики подтверждается лабораторными исследованиями.

Связь с современными стандартами по строительству

Диссертационная работа ориентирована на практическое применение, практически отсутствует анализ возможности использования предложенной методики при разработке нормативных документов (Eurocode 2, ACI 318, СП, СН и др.). Практическую значимость работы усилило бы включение рекомендаций по внедрению разработанной методики в нормативные документы.

Положительные стороны

Несмотря на отмеченные замечания, работа имеет ряд достоинств:

- логичная структура диссертации;
- качественное математическое сопровождение;

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ

Махмадизода Усмонали Муродали на тему «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения)

Представленный автореферат характеризует исследование, в котором физическое моделирование железобетонных балок рассматривается не как упрощенное геометрическое воспроизведение натурной конструкции, а как система экспериментально обоснованных условий перехода между подобными объектами. Такая постановка представляется научно оправданной, поскольку для железобетона масштабный эффект проявляется одновременно через геометрию, физико-механические свойства материалов, армирование, трещинообразование и изменение жесткости сечения.

Цель исследования сформулирована последовательно и направлена на определение коэффициентов и критериев подобия, обеспечивающих достоверный перенос параметров напряженно-деформированного состояния с модельных образцов на натурные конструкции. Поставленные задачи охватывают теоретическое обоснование, натурный и модельный эксперимент, установление безразмерных характеристик и сопоставление результатов с физически нелинейным численным моделированием.

Существенным достоинством работы является использование натурных испытаний не только как самостоятельной экспериментальной серии, но и как эталонной базы для оценки качества масштабного перехода. Испытания выполнены на трех натурных и трех модельных железобетонных балках. Для обеих серий определены фактические характеристики бетона и арматуры, а сопоставление проведено по нагрузкам, изгибающим моментам, прогибам, деформациям и ширине

раскрытия нормальных трещин. Такой многопараметрический контроль повышает доказательность сформулированных выводов.

Научный интерес представляет предложенный комплексный коэффициент подобия, учитывающий изменение характера деформирования после образования трещин. По данным автореферата его применение обеспечило среднюю погрешность масштабного перехода в момент трещинообразования 5,40 % по нагрузке и 6,27 % по прогибу; после образования трещин соответствующие значения составили 3,87 % и 7,22 %. При переносе изгибающего момента средняя погрешность составила 4,6 %. Указанные результаты подтверждают, что учет стадийности работы железобетона является необходимым условием повышения точности физического моделирования.

Отдельным научным результатом является экспериментальная оценка ширины раскрытия трещин. Показано, что предельное значение 0,30 мм для натурной балки не может непосредственно приниматься для модели масштаба 1:4, поскольку соответствует несходственной стадии работы. На основе установленной зависимости получено эквивалентное значение 0,16 мм, а отклонение расчетных и экспериментальных данных составило 5,88%. Тем самым параметр трещиностойкости включен в систему масштабного перехода на самостоятельной основе.

Значимым элементом методики является также учет различий в свойствах материалов модельной и натурной конструкций. В автореферате отражена необходимость согласования силовых и деформационных характеристик при неполном физическом подобии материалов, что соответствует реальным условиям моделирования железобетонных элементов. Такой подход делает полученные результаты более применимыми к лабораторной практике.

Дополнительную убедительность выводам придает физически нелинейное моделирование в ПК ЛИРА-САПР 2022 с использованием фактических диаграмм деформирования бетона и арматуры. Численный анализ здесь выполняет функцию

верификации и позволяет сопоставить экспериментально установленную стадийность с расчетной картиной деформирования. В совокупности это формирует завершенную расчетно-экспериментальную схему исследования.

Практическая значимость диссертации связана с возможностью применять разработанные принципы при планировании модельных испытаний, верификации конечно-элементных моделей и исследовании конструктивных элементов, для которых натурный эксперимент экономически или технически затруднен. В автореферате приведена технико-экономическая оценка, согласно которой затраты на изготовление модельных образцов составили 2,19 % затрат на изготовление натуральных балок в условиях выполненного исследования. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, включая 5 публикаций в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

По автореферату диссертации имеются следующие замечания:

1. Исследованию не приведены сведения о составе и виде бетона, использованного в исследовании.

2. В автореферате недостаточно подробно представлены результаты определения прочностных и деформационных свойств бетона на основе испытаний бетонных кубов и призм.

Указанные замечания имеют уточняющий характер, не затрагивают основных научных положений и не снижают научной новизны, достоверности и практической значимости выполненного исследования.

Автореферат последовательно отражает содержание диссертационной работы, характеризует научную новизну, методическую обоснованность и практическую направленность исследования. Полученные результаты имеют значение для развития методов физического моделирования железобетонных конструкций. Диссертационная работа соответствует специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения), а

Махмадизода Усмонали Муродали заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по указанной специальности.

Доктор философии (PhD) по
техническим наукам (05.09.01 –

Строительные конструкции, здания и сооружения)

кафедры строительной инженерии

Ташкентского архитектурно-строительного

университета, доцент



[Signature]

[Эргашов Жасурбек Дилмуродович]

«24» 08 2026 г.

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

Тел.: [+998971308491]

E-mail: [jasurbek_1711@mail.ru]

[Эргашов Жасурбек Дилмуродович] заверяю:

[Начальник отдела управления человеческими ресурсами]

[Ташкентского архитектурно-строительного

университета]



[Signature]

[Норкобилов Жахонгир Шабонович]

«24» 08 2026 г.

М.П.

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ

Махмадизода Усмонали Муродали на тему «Экспериментальные исследования железобетонных балок методами физического моделирования», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения)

Диссертационная работа Махмадизода Усмонали Муродали посвящена решению актуальной научно-технической задачи, связанной с развитием методологических основ физического моделирования изгибаемых железобетонных конструкций и обоснованием достоверного перехода от результатов экспериментальных исследований геометрически подобных моделей к параметрам напряжённо-деформированного состояния натуральных элементов.

Актуальность выбранного направления определяется необходимостью совершенствования экспериментальных методов исследования железобетонных конструкций, работа которых характеризуется сложным сочетанием упругих и неупругих деформаций, процессами трещинообразования, изменением жесткости поперечного сечения и перераспределением внутренних усилий в процессе нагружения. При этом проведение полномасштабных испытаний связано со значительными материальными и техническими затратами. В этой связи разработка научно обоснованных методов физического моделирования, позволяющих получать достоверную информацию о поведении натуральных конструкций по результатам испытаний уменьшенных образцов, представляет несомненный научный и практический интерес.

Методологическую основу исследования составляют положения теории подобия и размерного анализа, примененные автором для обоснования условий сопоставимости модельных и натуральных железобетонных балок. Существенным

достоинством работы является то, что физическое моделирование рассматривается не только с позиции соблюдения геометрического масштаба, но и с учетом различий физико-механических характеристик материалов, особенностей армирования, стадийности деформирования и изменения жесткости железобетонного элемента после образования трещин.

Экспериментальная часть диссертации построена на последовательном исследовании натурных и модельных железобетонных балок. Результаты испытаний натурных образцов используются в качестве эталонной экспериментальной базы для последующей оценки достоверности масштабного перехода. Такой подход позволяет непосредственно сопоставлять параметры напряжённо-деформированного состояния конструкций в сходственных стадиях их работы и тем самым объективно оценивать эффективность предлагаемых критериев подобия.

Заслуживает положительной оценки комплексный характер экспериментального контроля, предусматривающий регистрацию нагрузок, изгибающих моментов, прогибов, деформаций бетона и арматуры, а также параметров образования и раскрытия нормальных трещин. Рассмотрение совокупности указанных характеристик позволяет оценивать адекватность физического моделирования не по единичному показателю, а по системе взаимосвязанных параметров, определяющих фактическую работу изгибаемого железобетонного элемента.

Научно значимым результатом исследования является обоснование комплексного коэффициента подобия, предназначенного для учета изменения механического состояния конструкции в процессе нагружения. Необходимость такого подхода обусловлена тем, что после образования трещин существенно изменяются жесткостные характеристики железобетонного сечения и характер зависимости между нагрузкой и деформациями. Учет указанной стадийности

позволяет повысить точность переноса параметров от модельной балки к натурной конструкции в пределах от упругой стадии до стадии разрушения.

Особого внимания заслуживает исследование трещиностойкости. В работе показано, что непосредственное использование для физической модели абсолютного значения предельной ширины раскрытия трещин, установленного для натурной конструкции, не обеспечивает соответствия сходственным механическим состояниям элементов. В связи с этим автором выполнено отдельное исследование данного параметра и установлена эмпирическая зависимость между шириной раскрытия нормальных трещин в модельных и натуральных железобетонных балках. Такой подход расширяет возможности физического моделирования, поскольку позволяет осуществлять масштабный переход не только по показателям прочности и деформативности, но и по параметрам, характеризующим эксплуатационную пригодность конструкции.

Научная ценность полученных результатов заключается также в установлении количественной оценки точности предлагаемого масштабного перехода. Сопоставление прогнозируемых и экспериментальных параметров позволяет непосредственно оценивать степень соответствия модельной и натурной конструкций на характерных стадиях нагружения. Это повышает доказательность сформулированных научных положений и обеспечивает объективную оценку эффективности разработанной методики.

Значимым дополнением к физическому эксперименту является выполненное автором численное исследование железобетонных балок с использованием программного комплекса ЛИРА-САПР 2022 в физически нелинейной постановке. Применение фактических физико-механических характеристик бетона и арматуры позволяет приблизить расчетные модели к условиям экспериментальных испытаний. Сопоставление результатов численного и физического моделирования формирует дополнительный уровень верификации и способствует более глубокому анализу закономерностей деформирования исследуемых конструкций.

По материалам автореферата можно заключить, что поставленная цель исследования достигнута, основные задачи последовательно решены, а сформулированные научные положения находятся в логической взаимосвязи с результатами экспериментальных и численных исследований. Автореферат содержит необходимую информацию о научной новизне, достоверности результатов, практической значимости работы и основных выводах диссертации.

Вместе с тем по содержанию автореферата представляется целесообразным отметить следующие положения дискуссионного характера.

1. При формировании комплексного коэффициента подобия автор учитывает изменение напряжённо-деформированного состояния железобетонного элемента в процессе нагружения. Вместе с тем в автореферате было бы целесообразно более развернуто раскрыть физико-механическое обоснование перехода между отдельными характерными стадиями работы конструкции и показать вклад каждого учитываемого параметра в изменение значения комплексного коэффициента подобия.

2. Экспериментальная проверка предлагаемого подхода выполнена для железобетонных балок конкретного конструктивного исполнения, геометрического масштаба и схемы статического нагружения. В связи с этим в автореферате следовало бы более четко сформулировать границы экспериментально подтвержденной области применимости разработанных критериев подобия, а также обозначить условия, требующие дополнительной верификации при изменении масштаба, схемы армирования или характера внешнего воздействия.

Указанные замечания имеют научно-дискуссионный и уточняющий характер, не затрагивают существа выполненного исследования, не снижают научной новизны, достоверности и практической значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

В целом автореферат достаточно полно и последовательно отражает основное содержание диссертации, позволяет оценить методологию исследования, объем

проведенных экспериментальных и численных работ, научную новизну, степень обоснованности полученных результатов и их практическую значимость.

Диссертационная работа Махмадизода Усмонали Муродали по содержанию и научной направленности соответствует специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) по указанной специальности.

Медянкин Михаил Дмитриевич,
кандидат технических наук (2.1.1 - Строительные
конструкции, здания и сооружения),
начальник объединенной научной лаборатории
ООО «ЭкоДок»



«28» августа 2026 г.

Адрес: г. Москва, вн. тер. Муниципальный округ Войковский, ул. Адмирала Макарова, д. 6, стр. 13.

E-mail: 412125453@mail.ru

Тел: +7(495)-225-22-22 доб. 73-19

Подпись Медянкина М.Д. заверяю, начальник отдела кадров ООО «ЭкоДок»



 /Е.В. Комисарова

«28» 08 2026 г.
М.П.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации
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)

Диссертационная работа *Махмадизода У.М* посвящена актуальной научно-технической задаче совершенствования экспериментальных методов исследования железобетонных конструкций на основе физического моделирования, теории подобия и размерного анализа.

Актуальность темы обусловлена необходимостью достоверной оценки напряжённо-деформированного состояния при сокращении затрат на полномасштабные испытания. Для железобетона проблема особенно существенна вследствие трещинообразования, изменения жёсткости сечения и физически нелинейного деформирования материалов.

Цель работы заключается в научном обосновании и экспериментальной реализации методики физического моделирования железобетонных балок с определением критериев и коэффициентов подобия, обеспечивающих перенос параметров напряжённо-деформированного состояния с модели на натурную конструкцию. Постановка задачи представляется обоснованной, поскольку одного геометрического подобия для железобетонных элементов недостаточно и масштабный переход должен учитывать реальную стадийность их работы.

К наиболее значимым результатам следует отнести обоснование дифференцированного масштабного перехода по стадиям работы конструкции и предложенный комплексный коэффициент подобия. Показано, что применение единого неизменного коэффициента на всём протяжении нагружения методологически недостаточно. После трещинообразования комплексный коэффициент обеспечивает удовлетворительную сходимость

прогнозируемых и экспериментальных параметров: средние расхождения составили 3,87 % по нагрузке и 7,22 % по прогибам; приемлемое соответствие получено и при переносе изгибающих моментов.

Существенным достоинством работы является верификация результатов физически нелинейным конечно-элементным моделированием в ПК ЛИРА-САПР 2022 с использованием фактических диаграмм деформирования бетона и арматуры. Сопоставление экспериментальных и расчётных данных повышает доказательность полученных зависимостей. Научная новизна определяется развитием методики физического моделирования, обоснованием комплексного коэффициента подобия и установлением эмпирической зависимости для трещиностойкости; практическая значимость – возможностью применения результатов в научно-исследовательской, проектной и образовательной деятельности.

При общей положительной оценке автореферата следует отметить следующие замечания:

1. В автореферате на стр. 22 приведены погрешности масштабного перехода 5,40 %, 6,27 %, 3,87 % и 7,22 % названы допустимыми, однако критерий или нормативная граница допустимости такой погрешности непосредственно не сформулированы.

2. Установленная эмпирическая зависимость для ширины раскрытия нормальных трещин представляет практический интерес; её дальнейшая проверка на расширенной серии образцов, при других коэффициентах геометрического масштабирования и различных классах бетона позволила бы уточнить область применимости и повысить степень обобщения результата.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки выполненного исследования.

В целом автореферат отражает содержание завершённой научно-исследовательской работы, в которой решена актуальная научно-техническая задача развития методов физического моделирования железобетонных конструкций и обоснования достоверного перехода от модельных испытаний

к параметрам натуральных элементов. По актуальности, научной новизне, достоверности результатов и научно-практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности, а её автор Махмадизода Усмонали Муродали заслуживает присуждения учёной степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D072900 – Строительство (6D072902 – Строительные конструкции, здания и сооружения).

Доктор физико-математических наук

(01.02.04 – механика деформируемого твердого тела)

Заведующий кафедрой Строительной и теоретической механики

Московского Государственного Строительного Университета

профессор



Кузнецов Сергей Владимирович

«25» августа 2026 г.

129337, Россия, Москва, Ярославское ш., д. 26, НИУ МГСУ

Тел.: +7-495-781-99-88

E-mail: kanz@mgsu.ru

Подпись Кузнецова С.В. заверяю.

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗ-
ВОДСТВА УРП
А. В. ПИНЕГИН
25. 08. 2026

