

---

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS**

---

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.42> EDN: [VDZFLP](#)**СОЗДАНИЕ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Научная статья

**Разинкова О.А.<sup>1,\*</sup>, Балашов А.А.<sup>2</sup>, Козырев С.В.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0009-0082189-3828;<sup>1,2,3</sup> Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, Астрахань, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (o.a.razinkova[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Бетонные конструкции, являясь основой современной инфраструктуры, подвержены сложным процессам деформации под воздействием различных нагрузок. Понимание этих деформаций, их причин и способов прогнозирования является фундаментом в обеспечении долговечности и безопасности зданий и сооружений. В рамках исследования проведен литературный обзор по вопросу деформаций, возникающих в бетонных конструкциях, проанализировано пять основных методов расчета: метод конечных элементов, теории упругости, экспериментальный, аналитический и комбинированные, получены экспериментальные данные при испытании стандартных образцов. Для количественной оценки деформаций и прогнозирования поведения конструкций была построена математическая модель. Основное внимание уделено прочностным характеристикам бетона и их разрушению под действием разных нагружений. Выявлены основные причины отличия значений перемещений полученных при лабораторных испытаниях и теоретических значениях в построенной модели.

**Ключевые слова:** трещиностойкость бетона, численное моделирование, сечение, образец, перемещение, экспериментальные данные, нагрузки, деформации.

**CREATION AND ANALYSIS OF A MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING CONCRETE DEFORMATIONS BASED ON EXPERIMENTAL DATA**

Research article

**Razinkova O.A.<sup>1,\*</sup>, Balashov A.A.<sup>2</sup>, Kozirev S.V.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0009-0082189-3828;<sup>1,2,3</sup> Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation

\* Corresponding author (o.a.razinkova[at]yandex.ru)

**Abstract**

Concrete structures, which form the basis of modern infrastructure, are subject to complex deformation processes under the influence of various loads. Understanding these deformations, their causes and methods of prediction is fundamental to ensuring the durability and safety of buildings and structures. As part of the study, a literature review was conducted on the issue of deformations occurring in concrete structures, five basic calculation methods were analysed: the finite element method, elasticity theory, experimental, analytical and combined methods, and experimental data were obtained from testing standard samples. A mathematical model was constructed to quantitatively evaluate deformations and predict the behaviour of structures. The main focus was on the strength characteristics of concrete and its failure under different loads. The main reasons for the differences between the displacement values received in laboratory tests and the theoretical values in the constructed model were identified.

**Keywords:** concrete crack resistance, numerical modelling, cross-section, sample, displacement, experimental data, loads, deformations.

**Введение**

Деформации элементов строительных конструкций, возникающие под действием внешних нагрузок, являются одной из ключевых характеристик, определяющих работоспособность, надёжность и долговечность зданий и сооружений. Необходимость точного учёта деформаций, в том числе связанных с трещинообразованием, подчёркивается в работах, посвящённых механике разрушения и предельным состояниям материалов. Так, В.В. Панасюк отмечает, что «для описания квазихрупкого разрушения материалов требуется тщательный анализ напряжённо-деформированного состояния и условий инициирования трещин» [1, С. 15].

В классических исследованиях Г.П. Черепанова особое внимание уделяется энергетическим подходам и критериям разрушения, позволяющим оценивать устойчивость трещин и предсказывать их развитие в элементах конструкций [2, С. 40-45]. Н.А. Махутов подчёркивает значимость деформационных критериев разрушения, указывая, что «учёт деформационных параметров является необходимым при оценке прочности и надёжности конструктивных элементов» [3, С. 12-14]. Эти подходы формируют теоретическую основу для современных методов анализа и моделирования поведения бетонных и железобетонных изделий.

Важным аспектом, связанным с трещиностойкостью и усталостным разрушением, являются исследования распространения трещин в конструкционных материалах при циклическом нагружении. А.Н. Романов демонстрирует, что параметры кривой циклической трещиностойкости существенно влияют на оценку долговечности конструкций и

требуют точного определения деформационных характеристик [4, С. 47-49]. Это подтверждает необходимость более детальной проработки моделей, описывающих деформации и трещинообразование в бетоне.

Вопросы деформирования железобетонных конструкций с учётом сложного напряжённого состояния рассмотрены в монографии Н.В. Федоровой и соавторов, где показано, что «адекватное описание деформирования составных плосконапряжённых элементов требует комплексного учёта работы бетона и арматуры» [5]. Исследования О.А. Разинковой демонстрируют, что модификация бетонной смеси порошковыми добавками и наполнителями существенно влияет на трещиностойкость и деформативность мелкозернистых бетонов [6, С. 156-157]. В свою очередь, Ю.И. Рябухин и О.А. Разинкова подчёркивают значимость подбора вяжущих и полимерных материалов для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик изделий [7, С. 30-35].

С точки зрения методологии измерения деформаций, М.Н. Данилов и П.П. Бардаев предлагают подход к определению деформаций в структурно-неоднородных средах, позволяющий более точно фиксировать локальные деформации и учитывать анизотропию материала [8, С. 84-86]. Это особенно актуально для бетона, структура которого по своей природе неоднородна.

Актуальность исследования определяется необходимостью повышения точности расчёта деформаций и трещинообразования в бетонных и железобетонных конструкциях с учётом реальных свойств материалов, сложной структуры напряжённого состояния и результатов экспериментальных измерений. Современные работы по деформированию железобетонных конструкций с дефектами защитного слоя показывают, что наличие продольных коррозионных трещин существенно изменяет характер деформаций и распределение напряжений [9, С. 26-28], что требует уточнения расчётных моделей.

Цель исследования — разработка и анализ математической модели для оценки деформаций и трещинообразования в бетонном образце на основе сопоставления результатов численного моделирования с данными лабораторных испытаний.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

- выполнить лабораторные испытания бетонных образцов на сжатие с регистрацией перемещений и ширины раскрытия трещин при различных уровнях нагрузки;
- построить численную модель бетонного образца с учётом реальных геометрических параметров, граничных условий и основных характеристик материала;
- провести численное моделирование деформирования образца при различных степенях нагружения и получить поля перемещений и напряжений;
- сопоставить экспериментальные и расчётные данные, оценить характер и величину расхождений;
- выявить основные факторы, влияющие на расхождения, и предложить рекомендации по уточнению параметров математической модели.

Научная новизна работы заключается в комплексном сопоставлении деформационного поведения реальных бетонных образцов и результатов численного моделирования при одной и той же схеме нагружения, а также в уточнении параметров математической модели, описывающей зависимость ширины раскрытия трещин от уровня внешней нагрузки. Подобный подход согласуется с современными работами по моделированию напряжённо-деформированного состояния и деформаций в рамках механики деформируемого твёрдого тела [10, С. 92-94], [11, С. 159-161], [12, С. 21-23], но адаптирован к конкретным условиям эксперимента и исследуемого образца.

## Основные результаты исследования

### 2.1. Обзор методов расчёта деформаций

Теоретические основы расчёта деформаций и разрушения бетонных и железобетонных конструкций опираются на методы механики разрушения, теории упругости и пластичности, а также на численные подходы. В монографии В.В. Панасюка подчёркивается, что моделирование квазихрупкого разрушения требует комплексного подхода, включающего как аналитические методы, так и численные схемы расчёта [1, С. 20-24].

В настоящем исследовании рассматриваются несколько основных групп методов расчёта деформаций. Существуют различные методы расчёта (табл. 1).

Таблица 1 - Перечень основных методов расчета

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.42.1>

Наименование	Особенности	Применение
Метод конечных элементов	Необходимо задать соответствующие граничные условия и параметры материала	Позволяет моделировать поведение конструкций под воздействием различных нагрузок и воздействий
Методы теории упругости	Решение дифференциальных уравнений, описывающих поведение упругих тел под нагрузкой	Требует сложных математических расчётов и может быть затруднительно для сложных конструкций
Экспериментальные методы	Проведение испытаний на образцах или моделях конструкций	Требуют значительных затрат времени и ресурсов

Наименование	Особенности	Применение
Аналитические методы	Использование упрощённых аналитических зависимостей	Предварительного анализа и оценки параметров, но не обеспечивает высокую точность результатов
Численно-аналитические методы	Сочетают преимущества численных и аналитических методов	Позволяют провести точный анализ расчетных показателей конструкции с учётом реальных условий

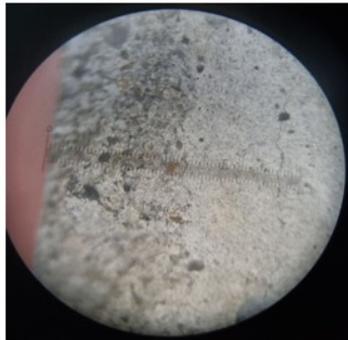
Как отмечает Н.А. Махутов, выбор метода расчёта должен определяться характером задачи и необходимой степенью детализации деформационного состояния [3, С. 30-32]. В ряде случаев наилучший результат достигается при сочетании численных и экспериментальных методов.

## 2.2. Лабораторные исследования

Экспериментальная часть исследования направлена на получение зависимости перемещений и ширины раскрытия трещин от уровня нагрузки. Подобный подход к лабораторным исследованиям деформационных свойств железобетонных конструкций применяется и в современных работах, где фиксируются изменения деформаций по мере увеличения нагрузки вплоть до разрушения [9, С. 27-29].

В данном исследовании образцы были изготовлены из бетона класса В25 (М350) при соотношении компонентов Ц : П : Ш : В = 1 : 2,5 : 3,9 : 0,6 кг. Габариты образцов составляли 100×100×100 мм.

Оборудование – испытательная машина (пресс) П-50 с точностью измерения нагрузки не менее 1% от измеряемой величины. Нагружение образцов выполнялось равномерно с возрастающей нагрузкой, со скоростью не более 0,6 МПа/с до разрушения кубиков. Были зафиксированы максимальные значения нагрузок и соответствующие им перемещения (рис. 1-2, табл. 2).



1. Появление первых трещин в образце (при нагрузке 2,5 т)



2. Начало разрушения образца (при нагрузке 20 т)



3. Разрушение образца (при нагрузке 30 т)



4. Разрушение образца (при нагрузке 45 т)

Рисунок 1 - Разрушение образца в зависимости от нагрузки  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.42.2>

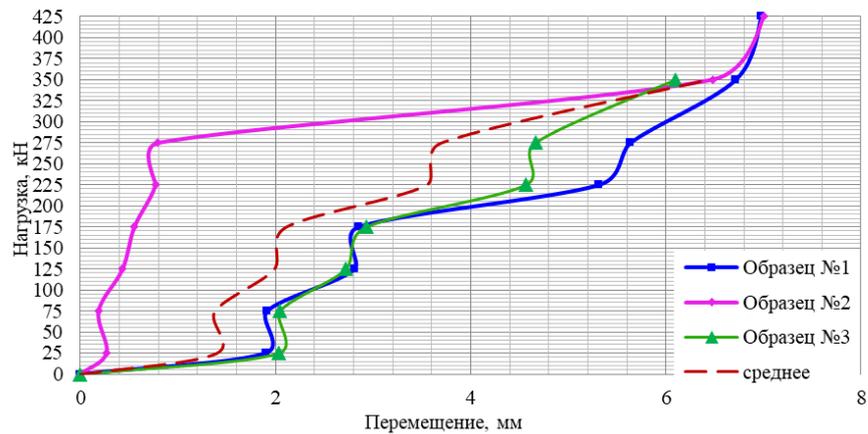


Рисунок 2 - График зависимости перемещений от нагрузок  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.42.3>

Таблица 2 - Результаты лабораторных испытаний

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.42.4>

Нагрузка, кН	Образец 1				Образец 2				Образец 3			
	Перемещение, мм				Перемещение, мм				Перемещение, мм			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
25	-3,68	-0,63	-2,81	-0,47	-1,53	-0,76	-0,66	-0,28	-1,53	-0,76	-0,66	-0,28
75	-3,71	-0,64	-2,83	-0,47	-1,21	-0,77	-0,5	-0,36	-1,21	-0,77	-0,5	-0,36
125	-5,38	-0,91	-4,28	-0,67	-2,48	-0,85	-1,58	-0,06	-2,48	-0,85	-1,58	-0,06
175	-5,48	-0,92	-4,32	-0,68	-2,86	-0,93	-1,77	-0,05	-2,86	-0,93	-1,77	-0,05
225	-9,57	-4,28	-6,73	-0,68	-4,56	-1,55	-2,94	-0,11	-4,56	-1,55	-2,94	-0,11
275	-10,28	-4,64	-6,93	-0,7	-4,78	-1,61	-3,08	-0,15	-4,78	-1,61	-3,08	-0,15
350	-12,1	-6,04	-7,79	-0,93	-14,8	-6,4	-11,8	-6,1	-14,8	-6,4	-11,8	-6,1
425	-12,7	-6,33	-7,95	-0,94	-15,2	-7	-13	-6,8	-15,2	-7	-13	-6,8

### 2.3. Численное моделирование

Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния бетонного образца выполнялось с использованием методологии, близкой к подходам, применяемым при моделировании деформируемых тел и железобетонных элементов [10, С. 92-93], [11, С. 160-162]. В частности, учитывалось распределение деформаций и перемещений по объёму образца.

Рассматривалось бетонное изделие с габаритами 100×100×100 мм (рис. 3). Прикладываемая нагрузка составляла 2,5 т с последующим увеличением. Связи в узлах были заданы только по оси Z. В работе Д.А. Тарасова показано, что при численном моделировании в упругопластической области важно корректно задать граничные условия и характеристики материала, так как от этого существенно зависит результат моделирования [12, С. 21-22]; данный подход был учтён при постановке расчётной задачи.

Были рассмотрены три характерные ступени нагружения:

- ступень 1: 2,5 т;
- ступень 10: 25 т;
- ступень 18: 45 т.

Для каждой ступени получены изополя перемещений по осям X, Y, Z, а также распределение нормальных и касательных напряжений ( $N_x$ ,  $N_y$ ,  $T_{xy}$ ,  $T_{xz}$ ,  $T_{yz}$ ) (рис. 3, табл. 3).

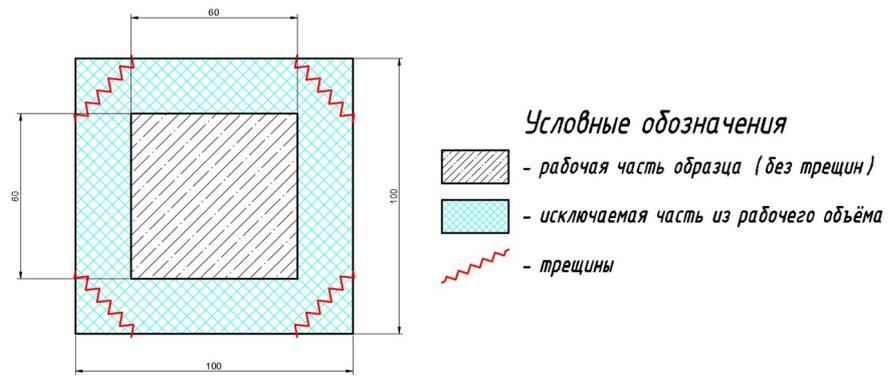


Рисунок 3 - Схема рабочего сечения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.42.5>



Таблица 3 - Результаты численного моделирования  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.42.6>

<b>1 Степень нагружения (2,5 тонны)</b>		
<i>Изополю перемещений по X</i>	<i>Изополю перемещений по Y</i>	<i>Изополю перемещений по Z</i>
<i>Изополю напряжений Nx</i>	<i>Изополю напряжений Ny</i>	<i>Изополю напряжений Nz</i>
<i>Изополю напряжений Txy</i>	<i>Изополю напряжений Txz</i>	<i>Изополю напряжений Tyz</i>
<b>10 Степень нагружения (25 тонн)</b>		
<i>Изополю перемещений по X</i>	<i>Изополю перемещений по Y</i>	<i>Изополю перемещений по Z</i>
<i>Изополю напряжений Nx</i>	<i>Изополю напряжений Ny</i>	<i>Изополю напряжений Nz</i>
<i>Изополю напряжений Txy</i>	<i>Изополю напряжений Txz</i>	<i>Изополю напряжений Tyz</i>
<b>18 Степень нагружения (45 тонн)</b>		
<i>Изополю перемещений по X</i>	<i>Изополю перемещений по Y</i>	<i>Изополю перемещений по Z</i>
<i>Изополю напряжений Nx</i>	<i>Изополю напряжений Ny</i>	<i>Изополю напряжений Nz</i>
<i>Изополю напряжений Txy</i>	<i>Изополю напряжений Txz</i>	<i>Изополю напряжений Tyz</i>

## 2.4. Сопоставление экспериментальных и расчётных данных

Сопоставление значений перемещений и ширины раскрытия трещин, полученных в ходе лабораторных испытаний, с результатами численного моделирования (табл. 4) показало, что характер зависимостей в целом совпадает, однако отмечаются количественные расхождения. Подобные различия между экспериментом и расчётом также отмечаются в ряде современных исследований численного анализа деформирования железобетонных элементов [11, С. 166-168].

Причины расхождений могут быть следующими:

1. Неточность измерений. В эксперименте присутствуют неизбежные погрешности фиксации нагрузок, перемещений и параметров трещин.
2. Различия условий эксперимента и моделирования. Испытания проводятся в реальных условиях (температура, влажность, возможные эксцентриситеты приложения нагрузки), тогда как модель предполагает идеализированные условия.
3. Упрощённость модели. В численном анализе используются усреднённые характеристики бетона и упрощённые зависимости «напряжение–деформация», не полностью отражающие нелинейное и повреждаемое поведение материала.
4. Начальные условия и дефекты. Реальные образцы могут содержать начальные микротрещины и неоднородности, которые не учитываются в идеализированной модели.
5. Неточность характеристик материала. Отклонения фактических параметров бетона (модуля упругости, предела прочности и т.п.) от принятых в модели значений приводят к отличию результатов.
6. Геометрические отклонения. Небольшие расхождения фактических размеров и формы образцов от номинальных параметров могут влиять на напряжённо-деформированное состояние.

Таблица 4 - Анализ полученных результатов математической модели и экспериментальных данных

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.42.7>

Нагрузка, т	Среднее максимальное значение ширины раскрытия трещин по трем образцам, мм	
	Экспериментальный образец	Численный образец
2,5	-0,012	-0,014
5	-0,052	-0,07
7,5	-0,092	-0,126
10	-0,132	-0,182
12,5	-0,172	-0,238
15	-0,212	-0,294
17,5	-0,252	-0,35
20	-0,292	-0,406
22,5	-0,332	-0,462
25	-0,372	-0,518
27,5	-0,412	-0,574
30	-0,452	-0,63
32,5	-0,492	-0,686
35	-0,532	-0,742
37,5	-0,572	-0,798
40	-0,612	-0,854
42,5	-0,652	-0,91
45	-0,692	-0,966

## Заключение

Проведённое численно-экспериментальное исследование деформирования бетонного образца 100×100×100 мм при различных уровнях нагружения позволило получить следующие основные выводы:

1. Совместный анализ лабораторных испытаний и численного моделирования подтвердил, что качественный характер зависимости деформаций и ширины раскрытия трещин от нагрузки совпадает, однако количественные значения расходятся. Это согласуется с выводами о чувствительности результатов численного моделирования к исходным данным и допущениям модели, отмеченными в современных работах по анализу напряжённо-деформированного состояния конструкций [11, С. 167-168].
2. Наиболее опасными для рассматриваемого образца являются нагрузки, действующие в направлении наименьшего размера (в данном случае — высоты), что приводит к концентрации напряжений и формированию зон

интенсивного трещинообразования. Такой характер распределения напряжений и деформаций соответствует общим представлениям механики разрушения и деформационных критериев предельных состояний [3, С. 40-42].

3. Результаты моделирования и эксперимента показывают необходимость рационального армирования железобетонных элементов, особенно в областях, где по результатам расчёта наблюдаются максимальные напряжения и деформации. Это согласуется с рекомендациями по обеспечению трещиностойкости и живучести конструкций, сформулированными в теоретических и прикладных исследованиях по механике разрушения [2, С. 120-125].

4. Применение численно-экспериментального подхода позволяет уточнять параметры математических моделей и повышать достоверность расчётов деформаций и трещинообразования, что важно для проектирования надёжных и безопасных конструкций. Подобная верификация расчётных схем по экспериментальным данным соответствует современным тенденциям развития механики деформируемого твердого тела и инженерных методов расчёта [10, С. 95-96], [12, С. 23-25].

5. Перспективы дальнейших исследований связаны с уточнением нелинейных моделей деформирования бетона, расширением базы экспериментальных данных и использованием более детализированных расчётных схем, учитывающих реальную структуру материала и развитие трещин во времени.

Таким образом, проведённый численный анализ и моделирование позволили получить представление о поведении бетонного образца в условиях различных нагрузок и определить меры по его укреплению и повышению надёжности.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов / В.В. Панасюк. — Киев : Наукова думка, 1991. — 411 с.
2. Черепанов Г.П. Механика разрушения / Г.П. Черепанов. — Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2012. — 874 с.
3. Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность / Н.А. Махутов. — Москва : Научно-техническое издательство «Машиностроение», 1981. — 272 с.
4. Романов А.Н. Распространение трещин усталости и единая кривая циклической трещиностойкости конструкционных материалов / А.Н. Романов // Проблемы машиностроения и надежности машин. — Москва : Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2013. — № 5. — С. 47–57.
5. Федорова Н.В. Деформирование составных плоскостнонапряженных железобетонных конструкций : монография / Н.В. Федорова, В.И. Колчунов, М.С. Губанова. — 2022. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/131558.html> (дата обращения: 11.11.2025).
6. Разинкова О.А. Использование порошковых модификаторов и наполнителей в мелкозернистых цементных бетонах / О.А. Разинкова // Перспективы развития строительного комплекса. — Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. — № 12. — С. 156–158.
7. Рябухин Ю.И. Вяжущие и полимерные материалы в строительной индустрии / Ю.И. Рябухин, О.А. Разинкова. — Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. — 117 с.
8. Данилов М.Н. Метод измерения деформаций структурно-неоднородных сред / М.Н. Данилов, П.П. Бардаев; под ред. М.Ю. Орлова // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики — 2019 : материалы IX Всероссийской молодежной научной конференции. — Томск : Издательство «Красное знамя», 2020. — С. 84–88.
9. Шамшина К.В. Результаты экспериментальных исследований деформационных свойств сжимаемых железобетонных конструкций с коррозионными продольными трещинами в защитном слое бетона / К.В. Шамшина // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2020. — № 1 (31). — С. 26–33.
10. Мкртычев О.В. Уравнения между деформациями и перемещениями при моделировании упругого тела тремя взаимно перпендикулярными пластинами / О.В. Мкртычев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2024. — № 4 (50). — С. 92–96.
11. Левин В.М. Численный анализ напряженно-деформированного состояния двутавровой предварительно напряженной сборной железобетонной балки как объекта механики деформируемого твердого тела / В.М. Левин, Л.В. Стебляк // Современное промышленное и гражданское строительство. — 2020. — Т. 16. — № 4. — С. 159–169.
12. Тарасов Д.А. Численное моделирование работы изгибаемых элементов в упругопластической области при действии поперечного удара / Д.А. Тарасов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2022. — № 2 (40). — С. 21–25.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Panasyuk V.V. Mekhanika kvazikhрупкого razrusheniya materialov [Mechanics of Quasi-Brittle Fracture of Materials] / V.V. Panasyuk. — Kiev : Naukova dumka, 1991. — 411 p. [in Russian]



2. Cherepanov G.P. Mekhanika razrusheniya [Mechanics of destruction] / G.P. Cherepanov. — Izhevsk : Institute of Computer Sciences, 2012. — 874 p. [in Russian]
3. Makhutov N.A. Deformatsionnie kriterii razrusheniya i raschet elementov konstruksii na prochnost [Deformation criteria for destruction and calculation of structural elements for strength] / N.A. Makhutov. — Moscow : Scientific and Technical Publishing House "Mashinostroenie", 1981. — 272 p. [in Russian]
4. Romanov A.N. Rasprostranenie treshchin ustalosti i yedinaya krivaya tsiklicheskoj treshchinostoikosti konstruksionnykh materialov [Fatigue crack propagation and a unified cyclic crack resistance curve for structural materials] / A.N. Romanov // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin [Journal of Machinery Manufacture and Reliability]. — Moscow : Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 2013. — № 5. — P. 47–57. [in Russian]
5. Fedorova N.V. Deformirovanie sostavnykh ploskonapryazhennykh zhelezobetonnykh konstruksii [Deformation of Composite Flat-Stressed Reinforced Concrete Structures] : monograph / N.V. Fedorova, V.I. Kolchunov, M.S. Gubanova. — 2022. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/131558.html> (accessed: 11.11.2025) [in Russian]
6. Razinkova O.A. Ispolzovanie poroshkovykh modifikatorov i napolnitelei v melkozernistikh tsementnykh betonakh [Use of powder modifiers and fillers in fine-grained cement concretes] / O.A. Razinkova // Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa [Prospects for the development of the construction complex]. — Astrakhan : Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2018. — № 12. — P. 156–158. [in Russian]
7. Ryabukhin Yu.I. Vyazhushchie i polimernie materialy v stroitel'noi industrii [Binding and polymer materials in the construction industry] / Yu.I. Ryabukhin, O.A. Razinkova. — Astrakhan : Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2021. — 117 p. [in Russian]
8. Danilov M.N. Metod izmereniya deformatsii strukturno-neodnorodnykh sred [Strain Measurement Method of Heterogeneous Materials] / M.N. Danilov, P.P. Bardaev; edited by M.Yu. Orlov // Aktual'nye problemy sovremennoj mekhaniki sploshnykh sred i nebesnoj mekhaniki — 2019 [Actual Problems of Modern Continuum Mechanics and Celestial Mechanics — 2019] : proceedings of the IX All-Russian Youth Scientific Conference. — Tomsk : Publishing House "Krasnoe znamya", 2020. — P. 84–88. [in Russian]
9. Shamshina K.V. Rezultati eksperimentalnykh issledovaniy deformatsionnykh svoystv szhimaemykh zhelezobetonnykh konstruksii s korroziionnymi prodol'nymi treshchinami v zashchitnom sloe betona [Experimental Research Results of Deformation Properties of Compressible Reinforced Concrete Structures with Corrosion Longitudinal Cracks in the Protective Layer of Concrete] / K.V. Shamshina // Inzhenerno-stroitel'nii vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea]. — 2020. — № 1 (31). — P. 26–33. [in Russian]
10. Mkrtychev O.V. Uravneniya mezhdru deformatsiyami i peremeshcheniyami pri modelirovanii uprugogo tela tremya vzaimno perpendikulyarnymi platinami [Equations Between Deformations and Displacements in Modeling an Elastic Body with Three Mutually Perpendicular Plates] / O.V. Mkrtychev // Inzhenerno-stroitel'nii vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea]. — 2024. — № 4 (50). — P. 92–96. [in Russian]
11. Levin V.M. Chislennii analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dvutavrovoy predvaritelno napryazhennoi sbornoj zhelezobetonnoi balki kak obekta mekhaniki deformiruemogo tverdogo tela [Numerical Analysis of the Stress-Strain State of the Prestressed Prefabricated Reinforced Concrete I-Beam as Subject of Mechanics of Deformed Solid Body] / V.M. Levin, L.V. Steblyanko // Sovremennoe promishlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Modern Industrial and Civil Construction]. — 2020. — Vol. 16. — № 4. — P. 159–169. [in Russian]
12. Tarasov D. A. Chislennoe modelirovanie raboti izgibaemykh elementov v uprugoplasticheskoi oblasti pri deystvii poperechnogo udara [Numerical Simulation of the Operation of Bending Elements in the Elastic-Plastic Region Under the Action of a Transversal Impact] / D.A. Tarasov // Inzhenerno-stroitel'nii vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea]. — 2022. — № 2 (40). — P. 21–25. [in Russian]