



СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ/CONSTRUCTION STRUCTURES, BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5>

EDN: DJDWJY

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ НА ПРИМЕРЕ ОДНОЭТАЖНОЙ БЕЗРИГЕЛЬНОЙ ПЛИТНОЙ СИСТЕМЫ

Научная статья

Корнеев В.С.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0002-1962-0552;¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (work.korneyevvs[at]gmail.com)

Предложена: 13.06.2026; Принята: 23.06.2026; Опубликовано: 21.07.2026

Аннотация

В статье приведена вероятностная оценка живучести одноэтажной монолитной железобетонной безригельной плитной системы при аварийном исключении колонн. Рассмотрены три расчетных сценария, соответствующие удалению центральной, крайней и угловой колонны. На основе результатов расчета напряженно-деформированного состояния определены фактические усилия в колоннах и характерных зонах плиты, индексы надежности, вероятности повреждения и показатели живучести элементов. Для плитной части расчет выполнялся с учетом выделения надколонных и пролетных зон, что позволило оценить локальные участки достижения предельного состояния без их автоматического отождествления с отказом всей плитной системы. Полученные результаты использованы для сравнения аварийных сценариев и определения наиболее неблагоприятного варианта повреждения.

Ключевые слова: живучесть, аварийная ситуация, железобетонные конструкции, безбалочный каркас.**PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE FRAMES ON THE EXAMPLE OF A SINGLE-STOREY, GIRDERLESS SLAB SYSTEM**

Research article

Korneyev V.S.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0002-1962-0552;¹ Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (work.korneyevvs[at]gmail.com)

Suggested: 13.06.2026; Accepted: 23.06.2026; Published: 21.07.2026

Abstract

The article presents a probabilistic assessment of the durability of a single-storey monolithic reinforced concrete girderless slab system in the event of the collapse of columns. Three design scenarios are reviewed, corresponding to the removal of the central, end and corner columns. Based on the results of the stress-strain analysis, the actual forces in the columns and characteristic zones of the slab, reliability indices, damage probabilities and durability indicators for the structural members were determined. For the slab section, the analysis was carried out by distinguishing between the areas above the columns and the span areas, which made it possible to evaluate the local regions reaching the ultimate state without automatically equating them with the failure of the entire slab system. The obtained results were used to compare failure scenarios and determine the most unfavourable damage scenario.

Keywords: durability, emergency situation, reinforced concrete structures, gridless frame.**Введение**

В данной статье приведена вероятностная оценка живучести одноэтажной монолитной железобетонной безригельной плитной системы при аварийном исключении колонн. Актуальность работы обусловлена необходимостью развития расчетных подходов, позволяющих оценивать не только факт достижения предельного состояния в отдельных элементах, но и остаточную работоспособность конструктивной системы после локального повреждения.

В отечественной научной литературе термин «живучесть» используется для обозначения способности конструктивной системы сохранять работоспособность при локальных повреждениях и не допускать непропорционального развития разрушения [1], [2]. Существующие расчетные подходы к оценке прогрессирующего обрушения в значительной степени основаны на детерминированной проверке несущей способности элементов при заданных аварийных сценариях. Такой подход позволяет установить факт превышения предельных усилий, однако не дает количественной оценки вероятности повреждения и степени остаточной работоспособности системы.

В последние годы получили развитие вероятностные подходы к количественной оценке живучести конструктивных систем, в которых остаточная работоспособность определяется через вероятность безотказной работы элементов и вероятность их повреждения при аварийном воздействии [3], [4]. Однако практическая реализация таких подходов в основном рассматривается применительно к стержневым каркасным системам, где повреждение

связывается с дискретными элементами. Для монолитных безригельных плитных систем задача требует дополнительной адаптации, поскольку плита работает как непрерывная пластинчатая конструкция, а локальное превышение предельного момента в отдельной зоне не всегда означает отказ всей системы.

Одной из возможных причин локального повреждения несущей системы каркаса являются экстремальные механические воздействия, в том числе горизонтальные ударные нагрузки. В работах [5], [6] показано, что такие воздействия могут приводить к локальным повреждениям, потере устойчивости или исчерпанию несущей способности железобетонных колонн с учетом нелинейного характера их деформирования. Это обосновывает необходимость анализа аварийных сценариев, связанных с внезапным повреждением или исключением вертикальных опор из работы каркасной системы.

В качестве расчетного примера рассмотрена одноэтажная монолитная железобетонная безригельная плитная система с регулярной сеткой колонн. Рассматривались три аварийных сценария: удаление центральной, крайней и угловой колонны. Для каждого сценария определялись внутренние усилия в колоннах и расчетных зонах плиты, после чего выполнялась оценка индекса надежности, вероятности повреждения и показателя живучести отдельных элементов и системы в целом.

Целью настоящего исследования является развитие методики вероятностной оценки живучести железобетонных каркасных систем применительно к безригельной плитной системе при различных сценариях аварийного исключения колонн с учетом подходов, предложенных в работах [3], [4].

Методы и принципы исследования

В качестве основного количественного показателя остаточного ресурса элемента системы в результате аварийной ситуации предлагается определять показатель живучести $W_{r,i}$, при заданной вероятности безотказной работы $P_{no,i}$ и вероятности отказа конструктивной системы при реализации аварийной ситуации $P_{f,i}$:

$$W_{r,i} = P_{no,i} (1 - P_{f,i}) \quad (1)$$

где $P_{no,i}$ — вероятность безотказной работы i -го элемента в рассматриваемый период эксплуатации; $P_{f,i}$ — вероятность отказа i -го элемента при возникновении аварийной ситуации.

При эксплуатации несущей системы величина P_{no} варьируется от 0,9986 до 0,9 в зависимости от стадии жизненного цикла конструкции [7].

Так как вероятность отказа элемента может быть выражена через индекс надежности β_i , принимаем:

$$P_{f,i} = 1 - (0.5 + \Phi(\beta_i)) \quad (2)$$

где $\Phi(\beta_i)$ — значение интеграла Лапласа, соответствующего индекса надежности i -го конструктивного элемента.

При наличии в системе n конструктивных элементов показатель живучести системы с учетом выражения (2) можно записать в виде:

$$W_r = \prod_{i=1}^n W_{r,i} = \prod_{i=1}^n P_{no,i} (0.5 + \Phi(\beta_i)) \quad (3)$$

Для изгибаемых элементов в том числе расчетных зон плитной системы, работающих в условиях безвантовой схемы разрушения, индекс надежности:

$$\beta_i = \frac{|M_{ult,i}| - |M_{act,i}|}{\sqrt{S^2(M_{ult,i}) + S^2(M_{act,i})}} \quad (4)$$

где $M_{ult,i}$ — предельный изгибающий момент в элементе или расчетной зоне, определяемый по расчетным положениям СП 63.13330 [8]; $M_{act,i}$ — фактический изгибающий момент, возникающий после аварийной ситуации; $S(M_{ult,i})$, $S(M_{act,i})$ — среднеквадратические стандарты соответствующих случайных величин.

Для колонн, догружаемых в результате аварийного воздействия, индекс надежности определяется по формуле:

$$\beta_i = \frac{(|N_{ult,i}| - |N_{act,i}|) \cdot e}{\sqrt{S^2(eN_{ult,i}) + S^2(eN_{act,i})}} \quad (5)$$

где $N_{ult,i}$ — предельное значение продольной силы в элементе, определяемое по расчетным положениям СП 63.13330 [8]; $N_{act,i}$ — фактическое значение продольной силы после аварийной ситуации; e — эксцентриситет продольной силы, вычисляемый с учетом действующего в сечении продольной силы $N_{act,i}$; $S(eN_{ult,i})$, $S(eN_{act,i})$ — среднеквадратические стандарты соответствующих случайных величин.

Система считается обеспеченной живучестью при выполнении условия:

$$W_{r,i} > 0.5 \quad (6)$$

Применение изложенной методики рассмотрено на примере одноэтажной монолитной железобетонной безригельной системы.

Расчетная схема и исходные параметры модели

В качестве расчетного примера оценки живучести системы рассмотрена одноэтажная монолитная железобетонная безригельная плитная система, работающая по безвантовой схеме разрушения, с последующей локализацией разрушения. Расчетная схема каркаса представлена на рис. 1.

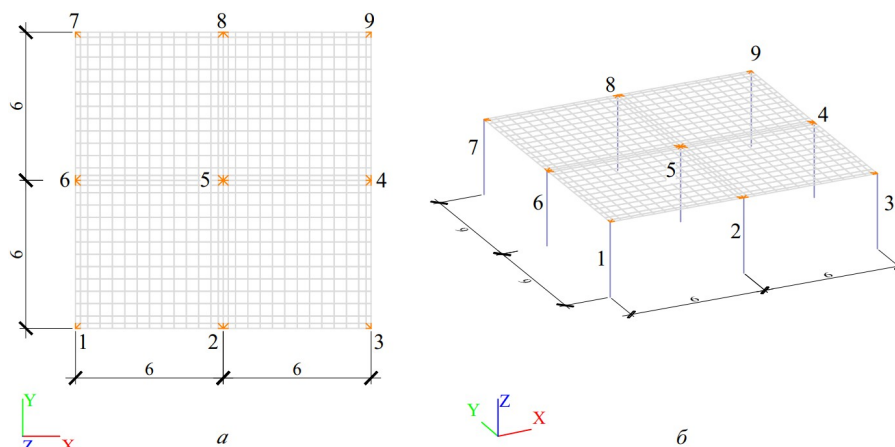


Рисунок 1 - Расчетная схема безригельного каркаса:

а – схема в плане; б – пространственный вид

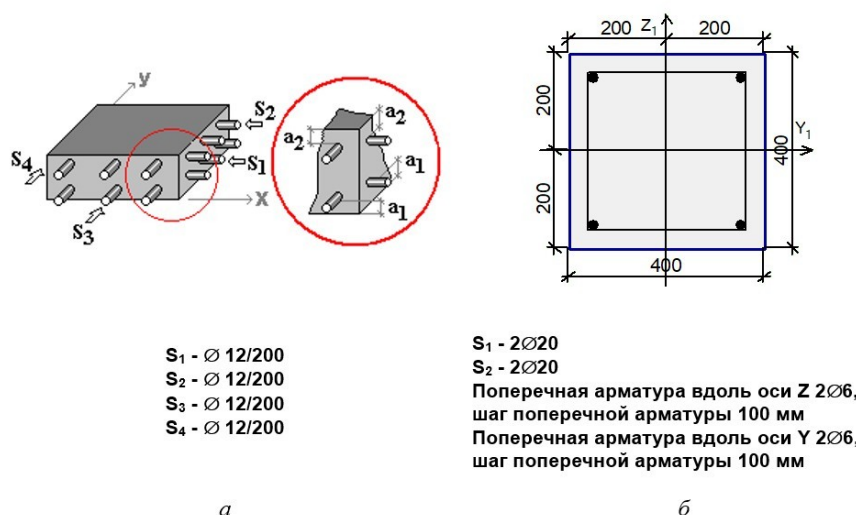
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5.1>

В расчетной модели нагрузки задавались с учетом собственного веса конструкции, дополнительной постоянной нагрузки $0,12 \text{ т/м}^2$ и временной полезной нагрузки $0,2 \text{ т/м}^2$. Данные нагрузки учитывались при расчете исходной и аварийных расчетных схемах.

В исследовании рассмотрены три аварийных сценария: S1 — удаление центральной колонны №5, S2 — удаление крайней колонны №2, S3 — удаление угловой колонны №1 согласно нумерации, приведенной на рис.1. Для каждого случая определялись внутренние усилия в плитной части и колоннах, нагружаемых в результате перераспределения усилий после исключения несущего элемента системы.

Для всех элементов каркаса принят бетон класса В25 и арматура класса А500. Армирование элементов назначалось по результатам расчета исходной схемы при нормальной эксплуатации, без искусственного завышения несущей способности специально для аварийных ситуаций. Расстояние от грани сечения до центра тяжести арматуры для всех конструктивных элементов принято 40 мм.

Колонны приняты сечением $400 \times 400 \text{ мм}$ с продольным армированием $4\phi 20$ А500. Поперечное армирование принято $\phi 6$ А240 с шагом 100 мм в обоих направлениях. Фоновое армирование плиты принято в виде нижней и верхней сетки $\phi 12/200$ рис.2.

Рисунок 2 - Принятое армирование элементов:
а – фоновое армирование плиты; б – армирование колонныDOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5.2>

Также в зоне сопряжения колонны и плиты предусматривалось дополнительное армирование, принятое по результатам расчета исходной схемы и проверки на продавливание: верхняя дополнительная сетка и поперечная арматура соответственно.

Результаты расчета и их анализ

Для каждого аварийного сценария были определены фактические внутренние усилия в колоннах и расчетных зонах плиты. Для колонн из расчетной модели принимались продольные силы $N_{act,i}$ и изгибающие моменты для

определения эксцентриситета e продольной силы. Для плитной части определялись фактические изгибающие моменты $M_{act,i}$ в характерных расчетных зонах.

Для оценки работы плитной части были выделены надколонные и пролетные расчетные зоны. Надколонные зоны обозначены буквой К с индексом, соответствующим номеру колонны. Пролетные зоны обозначены буквой П с указанием номеров колонн, между которыми расположена рассматриваемая зона. Схема расчетных зон приведена на рис. 3.

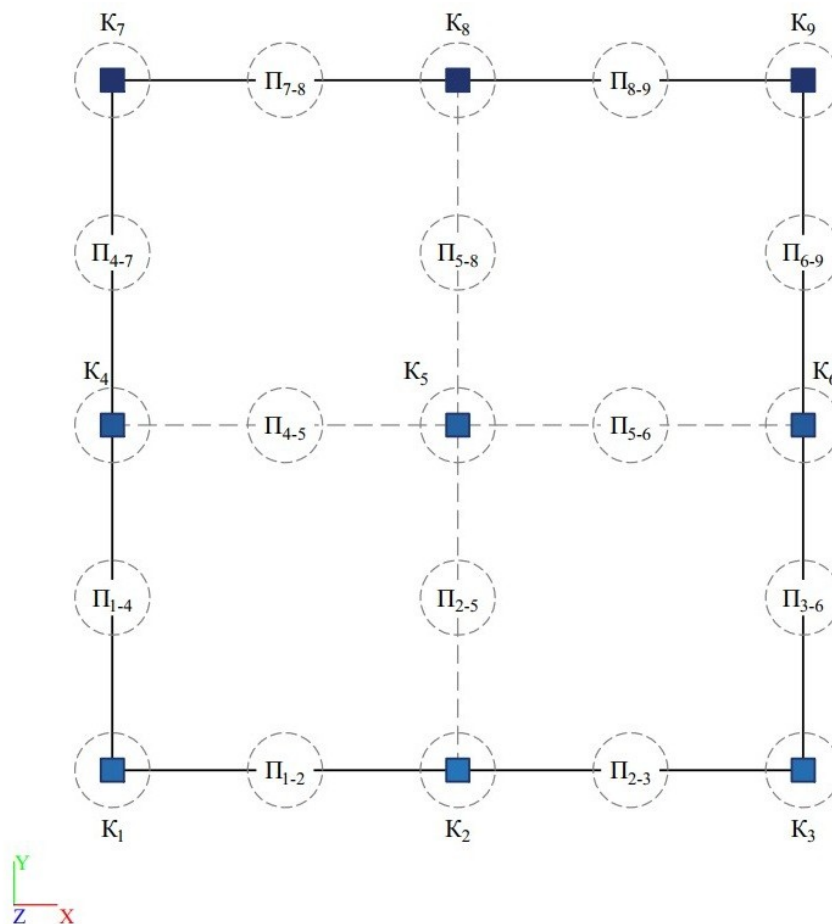


Рисунок 3 - Схема расчетных зон плиты перекрытия:

K_1-K_9 – надколонные зоны; $П_{1-2}..П_{8-9}$ – пролетные зоны между соответствующими колоннами

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5.3>

Для учета вероятностного разброса несущей способности элементов и фактических усилий определялись среднеквадратические отклонения случайных величин M_{ult} , M_{act} , eN_{ult} и eN_{act} . В качестве опорной выборки случайных значений принималась выборка ω , приведенная в работе [3].

Результаты вероятностной оценки для трех аварийных ситуаций приведены в табл.1–3.

Таблица 1 - Результаты вероятностной оценки для сценария S1 – удаление центральной колонны (5)

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5.4>

Тип элемента	Расчетные зоны/элементы	M_{act}/M_{ult}	β	$\Phi(\beta)$	P_f	$W_{r,i}$
Плита	К1, К3, К7, К9	3,14/10,77	5,24	0,5000	$8,16 \cdot 10^{-8}$	0,9986
	К2, К4, К6, К8	>1	0,00	0,0000	0,5000	0,4993
	К5	13,42/18,85	1,81	0,4645	0,0355	0,9631
	П1-2, П2-3, П1-4, П4-5, П4-7, П6-9,	3,02/5,05	2,66	0,4961	0,0039	0,9947



Тип элемента	Расчетные зоны/элементы	M_{act}/M_{ult}	β	$\Phi(\beta)$	P_f	$W_{r,i}$
Колонна	П7-8, П8-9					
	П2-5, П3-6, П5-6, П5-8	4,69/5,05	0,41	0,1584	0,3416	0,6575
	1, 3, 7, 9	5,43/15,63	4,74	0,5000	$1,06 \cdot 10^{-6}$	0,9986
	2, 4, 6, 8	>1	0,00	0,0000	0,50	0,4993

Таблица 2 - Результаты вероятностной оценки для сценария S2 – удаление крайней колонны (2)

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5.5>

Тип элемента	Расчетные зоны/элементы	M_{act}/M_{ult}	β	$\Phi(\beta)$	P_f	$W_{r,i}$
Плита	K1, K2, K3	>1	0,00	0,0000	0,5000	0,4993
	K4, K6	4,07/10,77	4,48	0,5000	$3,71 \cdot 10^{-6}$	0,9986
	K5	14,23/18,85	1,50	0,43	0,0662	0,9325
	K7, K9	2,34/10,77	5,88	0,5000	$2,02 \cdot 10^{-9}$	0,9986
	K8	3,96/10,77	4,57	0,5000	$2,45 \cdot 10^{-6}$	0,9986
	П1-2, П2-3	3,45/5,05	2,02	0,4782	0,0218	0,9768
	П1-4, П3-6	1,50/5,05	5,88	0,5000	$2,02 \cdot 10^{-9}$	0,9986
	П2-5	2,68/5,05	3,19	0,4993	0,0007	0,9979
	П4-5, П5-6	2,77/5,05	3,05	0,4989	0,0011	0,9975
	П4-7, П6-9	1,47/5,05	5,24	0,5000	$7,88 \cdot 10^{-8}$	0,9986
	П5-8	1,34/5,05	5,47	0,5000	$2,23 \cdot 10^{-8}$	0,9986
	П7-8, П8-9	1,63/5,05	4,96	0,5000	$3,46 \cdot 10^{-7}$	0,9986
Колонна	1, 3	16,47/19,76	0,98	0,3372	0,1628	0,8360
	4, 6	6,42/17,84	4,63	0,5000	$1,79 \cdot 10^{-6}$	0,9986
	5	7,06/31,20	5,81	0,5000	$3,21 \cdot 10^{-9}$	0,9986
	7, 9	2,63/16,16	6,35	0,5000	$1,04 \cdot 10^{-10}$	0,9986
	8	2,10/17,83	6,74	0,5000	$7,91 \cdot 10^{-12}$	0,9986

Таблица 3 - Результаты вероятностной оценки для сценария S3 – удаление угловой колонны (1)

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5.6>

Тип элемента	Расчетные зоны/элементы	M_{act}/M_{ult}	β	$\Phi(\beta)$	P_f	$W_{r,i}$
Плита	K1	3,87/10,77	4,64	0,5000	$1,71 \cdot 10^{-6}$	0,9986
	K2, K4	>1	0,00	0,0000	0,5000	0,4993
	K3, K7	3,18/10,77	5,20	0,5000	$9,77 \cdot 10^{-8}$	0,9986
	K5	6,00/18,85	5,00	0,5000	$2,93 \cdot 10^{-7}$	0,9986
	K6, K8	4,91/10,77	3,81	0,4999	$7,04 \cdot 10^{-5}$	0,9985
	K9	1,77/10,77	6,34	0,5000	$1,12 \cdot 10^{-10}$	0,9986
	П1-2, П1-4	0,68/5,05	6,59	0,5000	$2,15 \cdot 10^{-11}$	0,9986
	П2-3, П4-7	1,20/5,05	5,71	0,5000	$5,5 \cdot 10^{-9}$	0,9986
	П2-5, П4-5	2,49/5,05	3,50	0,4998	0,0002	0,9984
	П3-6, П7-8	1,65/5,05	4,93	0,5000	$4,02 \cdot 10^{-7}$	0,9986
	П5-6, П5-8	1,79/5,05	4,69	0,5000	$1,39 \cdot 10^{-6}$	0,9986
	П6-9, П8-9	1,90/5,05	4,49	0,5000	$3,61 \cdot 10^{-6}$	0,9986

Тип элемента	Расчетные зоны/элементы	M_{act}/M_{ult}	β	$\Phi(\beta)$	P_f	$W_{r,i}$
Колонна	2, 6	8,37/21,90	4,44	0,5000	$4,52 \cdot 10^{-6}$	0,9986
	3, 7	3,33/15,98	5,96	0,5000	$1,24 \cdot 10^{-9}$	0,9986
	5	1,16/25,52	7,34	0,5000	$1,1 \cdot 10^{-13}$	0,9986
	4, 8	4,16/18,68	5,84	0,5000	$2,63 \cdot 10^{-9}$	0,9986
	9	2,45/16,35	6,47	0,5000	$5,03 \cdot 10^{-9}$	0,9986

Зоны в плите, в которых выполнялось условие $M_{ult,i} < M_{act,i}$, рассматриваются как участки локального достижения предельного состояния. Такие зоны не отождествляются с автоматическим отказом всей плитной системы, поскольку локальные повреждения в монолитных безригельных перекрытиях могут приводить к перераспределению усилий, изменению характера работы плиты и только при неблагоприятном развитии повреждений к прогрессирующему обрушению системы [2], [9].

Во всех рассмотренных аварийных сценариях физически нелинейный расчет имел сходимость: вертикальные перемещения оставались конечными и не свидетельствовали о появлении кинематического механизма рис.4. В связи с этим локальные превышения несущей способности в отдельных расчетных зонах плиты рассматривались как локальные пластические зоны.

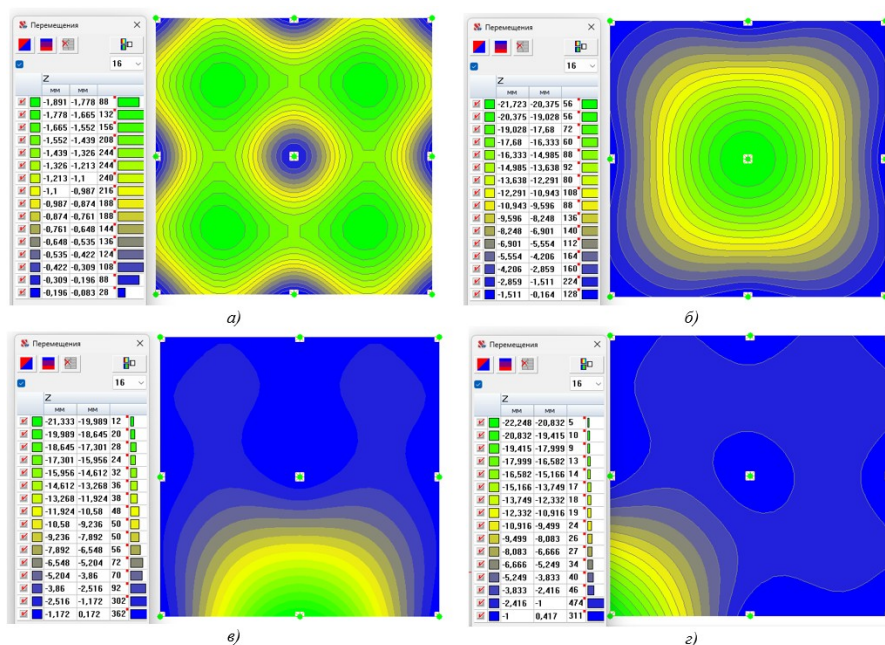


Рисунок 4 - Поля вертикальных перемещений плиты перекрытия:

а – исходная схема; б – сценарий S1, удаление центральной колонны №5; в – сценарий S2, удаление крайней колонны №2; г – сценарий S3, удаление угловой колонны №1

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5.7>

Итоговый показатель живучести для каждого аварийного сценария определялся как произведение локальных показателей $W_{r,i}$. Для колонн произведение (3) выполнялось по всем вертикальным элементам.

Для плитной части расчет выполнялся по выделенным расчетным зонам. Зоны, в которых выполнялось условие $M_{act,i} > M_{ult,i}$ учитывались как локально поврежденные участки и не включались в произведение локальных показателей живучести сохраняющейся части плитной системы. Такой подход принят в связи с тем, что по результатам физически нелинейного расчета локальное достижение предельного состояния в отдельных зонах не сопровождалось образованием кинематического механизма разрушения всей плиты.

Результаты расчета показателя живучести системы W_r по формуле (3) для каждого из аварийных сценариев приведены в табл. 4.

Таблица 4 - Результаты расчета показателя живучести системы

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.74.5.8>

Сценарий	Удаляемая колонна, №	Локально поврежденные зоны плиты	Колонны с превышением	$W_{r,к}$	$W_{r,пл}$	$W_{r,к} \cdot W_{r,пл} = W_r$
S1	5	K2, K4, K6, K8	2, 4, 6, 8	0,0618	0,1715	0,0106
S2	2	K1, K2, K3	—	0,6930	0,8686	0,6020
S3	1	K2, K4	—	0,9888	0,9731	0,9623

Из табл. 4 видно, что минимальное значение итогового показателя живучести получено для сценария S1, соответствующего удалению центральной колонны №5. В данном случае $W_r=0,0106<0,5$, что указывает на явное необеспечение живучести расчетной системы по принятому критерию (6). Низкое значение итогового показателя связано с одновременным локальным повреждением расчетных зон плиты и превышением предельного состояния в части колонн, догружаемых после исключения центральной опоры.

При сценарии S2, соответствующем удалению крайней колонны №2, показатель составил $W_r=0,602$, что превышает принятое критерияльное значение. При этом данный сценарий является более неблагоприятным по сравнению с удалением угловой колонны, поскольку значение W_r находится ближе к предельному уровню 0,5.

Наибольшее значение показателя живучести получено для сценария S3, соответствующего удалению угловой колонны №1: $W_r=0,9623$. Это свидетельствует о том, что повреждение угловой опоры вызывает наиболее локализованное перераспределение усилий среди рассмотренных случаев и не приводит к существенному снижению остаточной работоспособности системы.

Заключение

Выполненное исследование показало работоспособность вероятностного подхода к оценке живучести монолитной железобетонной безригельной плитной системы при аварийном исключении колонн. На примере расчетной модели с различными вариантами локального повреждения вертикальных опор продемонстрирована возможность количественной оценки остаточной работоспособности конструкции.

Применение предложенного подхода позволяет сопоставлять аварийные сценарии и выделять наиболее неблагоприятные схемы локальных повреждений в рамках рассматриваемой расчетной модели. Данный подход может применяться при анализе живучести как вновь проектируемых, так и реконструируемых железобетонных конструктивных систем.

Полученные результаты формируют основу для дальнейшего развития методов вероятностной оценки живучести пространственных железобетонных каркасных систем, включая конструктивные схемы с пилонами, несущими стенами и диафрагмами жесткости. В перспективе локальные и системные показатели живучести могут рассматриваться в качестве критериев или ограничений при вариантном проектировании конструктивных мероприятий и систем усиления, в том числе с применением методов структурно-параметрической оптимизации [10].

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю Алексейцеву Анатолию Викторовичу, заместителю директора ИПГС по научной работе, заместителю заведующего кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции» НИУ МГСУ, д.т.н., профессору, за консультацию при подготовке материалов настоящей статьи.

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.

Acknowledgement

The author expresses gratitude to their academic supervisor, Alekseytsev Anatoly Viktorovich, Deputy Director for Research Work at the Institute of Industrial and Civil Engineering (IICE) and Deputy Head of the Faculty of "Reinforced Concrete and Stone Structures" at National Research University "Moscow State University of Civil Engineering" (MSCI), Doctor of Technical Sciences and Professor, for his guidance during the preparation of this article.

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. Тамразян А.Г. Живучесть как степень работоспособности конструкций при повреждении / А.Г. Тамразян // Промышленное и гражданское строительство. — 2023. — № 7. — С. 22–28. — DOI: 10.33622/0869-7019.2023.07.22-28.



2. Алексейцев А.В. Сопrotивляемость прогрессирующему разрушению монолитных каркасов зданий при локальных повреждениях узлов от продавливания / А.В. Алексейцев, М.Д. Антонов // Вестник МГСУ. — 2024. — Т. 19. — № 9. — С. 1454–1468. — DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1454-1468.
3. Тамразян А.Г. Вероятностный критерий оценки живучести железобетонных рам при локализации разрушения / А.Г. Тамразян, А.В. Алексейцев, Е.С. Мишина // Вестник МГСУ. — 2025. — Т. 20. — № 7. — С. 1061–1071. — DOI: 10.22227/1997-0935.2025.7.1061-1071.
4. Alekseytsev A.V. Evaluating the structural safety of steel frames using a probabilistic robustness index / A.V. Alekseytsev, N.S. Kurchenko // Magazine of Civil Engineering. — 2025. — Vol. 18. — № 5. — Article no. 13709. — DOI: 10.34910/MCE.137.9.
5. Алексейцев А.В. Анализ устойчивости железобетонной колонны при горизонтальных ударных воздействиях / А.В. Алексейцев // Железобетонные конструкции. — 2023. — Т. 2. — № 2. — С. 3–12. — DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.3-12.
6. Алексейцев А.В. Аналитическая модель динамического расчета железобетонных колонн при горизонтальном ударе с разрушением по наклонному сечению / А.В. Алексейцев, К.В. Юрусов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2025. — Т. 21. — № 6. — С. 497–508. — DOI: 10.22363/1815-5235-2025-21-6-497-508.
7. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений. — Москва: ФЦС, 2018. — 50 с.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. — Москва: Стандартинформ, 2019.
9. Алексейцев А.В. Динамика безбалочных железобетонных каркасов сооружений при повреждениях плит продавливанием / А.В. Алексейцев, М.Д. Антонов // Строительство и реконструкция. — 2021. — № 4 (96). — С. 23–34. — DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-23-34.
10. Алексейцев А.В. Оптимальный структурно-параметрический синтез систем усиления металлических ферм / А.В. Алексейцев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2014. — № 2. — С. 37–46.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tamrazyan A.G. Zhivuchest' kak stepen' rabotosposobnosti konstruktсий pri povrezhdenii [Survivability as a degree of structural operability under damage] / A.G. Tamrazyan // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. — 2023. — No. 7. — P. 22–28. — DOI: 10.33622/0869-7019.2023.07.22-28. [in Russian]
2. Alekseytsev A.V. Soprotivlyaemost' progressiruyushchemu razrusheniyu monolitnykh karkasov zdaniy pri lokal'nykh povrezhdeniyakh uzlov ot prodavlivaniya [Resistance to progressive collapse of monolithic frames of buildings at localized damage of nodes from push-through] / A.V. Alekseytsev, M.D. Antonov // Vestnik MGSU [Bulletin of MSCU]. — 2024. — Vol. 19. — № 9. — P. 1454–1468. — DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1454-1468. [in Russian]
3. Tamrazyan A.G. Veroyatnostnyy kriteriy otsenki zhivuchesti zhelezobetonnykh ram pri lokalizatsii razrusheniya [Probabilistic criterion for assessing the survivability of reinforced concrete frames during failure localization] / A.G. Tamrazyan, A.V. Alekseytsev, E.S. Mishina // Vestnik MGSU [Bulletin of MSCU]. — 2025. — Vol. 20. — № 7. — P. 1061–1071. — DOI: 10.22227/1997-0935.2025.7.1061-1071. [in Russian]
4. Alekseytsev A.V. Evaluating the structural safety of steel frames using a probabilistic robustness index / A.V. Alekseytsev, N.S. Kurchenko // Magazine of Civil Engineering. — 2025. — Vol. 18. — № 5. — Article no. 13709. — DOI: 10.34910/MCE.137.9.
5. Alekseytsev A.V. Analiz ustoychivosti zhelezobetonnoy kolonny pri gorizonta'lnykh udarnykh vozdeystviyakh [Stability of the RC column under horizontal impacts] / A.V. Alekseytsev // Zhelezobetonnyye konstruktсии [Reinforced Concrete Structures]. — 2023. — Vol. 2. — № 2. — P. 3–12. — DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.3-12. [in Russian]
6. Alekseytsev A.V. Analiticheskaya model' dinamicheskogo rascheta zhelezobetonnykh kolonn pri gorizonta'lnom udare s razrusheniem po naklonnomu secheniyu [Analytical modeling of reinforced concrete columns under lateral impact with shear failure] / A.V. Alekseytsev, K.V. Yursov // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. — 2025. — Vol. 21. — № 6. — P. 497–508. — DOI: 10.22363/1815-5235-2025-21-6-497-508. [in Russian]
7. Metodika otsenki ostatochnogo resursa nesushchikh konstruktсий zdaniy i sooruzheniy [Methodology for assessing the residual life of load-bearing structures of buildings and facilities]. — Moscow: FTsS, 2018. — 50 p. [in Russian]
8. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktсии. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003 [Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated edition of SNiP 52-01-2003]. — Moscow: Standartinform, 2019. [in Russian]
9. Alekseytsev A.V. Dinamika bezbalochnykh zhelezobetonnykh karkasov sooruzheniy pri povrezhdeniyakh plit prodavlivaniem [Dynamics of reinforced concrete non-beam frames in case of damage to slabs punching] / A.V. Alekseytsev, M.D. Antonov // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]. — 2021. — № 4 (96). — P. 23–34. — DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-23-34. [in Russian]
10. Alekseytsev A.V. Optimal'nyy strukturno-parametricheskiiy sintez sistem usileniya metallicheskh ferm [Optimal structural-parametric synthesis of strengthening systems for metal trusses] / A.V. Alekseytsev // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. — 2014. — № 2. — P. 37–46. [in Russian]