

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2025. Т. 27. № 1. С. 203–216.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2025; 27 (1): 203–216.  
Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.21/.8

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-203-216

EDN: WRUPVL

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА**

**Глеб Леонидович Огурцов, Николай Алексеевич Ермошин**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** *Актуальность.* Несмотря на принимаемые меры в области повышения качества проектирования, строительства и эксплуатации мостовых сооружений, количество случаев преждевременных отказов в работе конструктивных элементов мостов не сокращается. Во многом это обусловлено воздействием увеличивающейся интенсивности транспортных потоков и агрессивным влиянием на материалы конструкций химически активных атмосферных газов и противогололедных материалов. Однако нормативно-техническая база проектирования автомобильных дорог и мостов для обоснования безотказности и долговечности мостовых конструкций эти факторы не учитывает и предлагает использовать коэффициенты запаса прочности, основанные на ретроспективных статистических данных о дорожном движении и эксплуатации мостов. В результате сложилось противоречие между практикой обеспечения безопасности работы мостов и состоянием научно-методической базы решения этих вопросов. Для разрешения противоречия необходима разработка метода прогнозирования показателей безотказности пролетного строения моста, который учитывает совместную работу его конструктивных элементов, стохастический характер и динамику параметров транспортных потоков, а также деструктивное воздействие на мост агрессивных сред в течение расчетного срока службы.

*Целью* является разработка методологического подхода к оценке и прогнозированию показателей безотказности железобетонных пролетных строений мостов.

*Методы.* Предлагаемый метод определения показателей безотказности балочных пролетных строений железобетонных автодорожных мостов основан на применении математического аппарата структурных функций надежности сложных технических систем, определения показателей диффузии жидкостей и газов, имитационного моделирования работы балок пролетного строения.

*Результаты.* Полученные при реализации метода функции плотности распределения показателей безотказности пролетных строений с учетом стохастического характера состава и интенсивности движения, технологических процессов строительства, содержания мостовых сооружений и применяемых материалов, природно-климатических факторов позволяют прогнозировать сроки межремонтной службы мостов, разрабатывать организационно-технические и конструктивные решения по повышению безопасности мостовых сооружений.

**Ключевые слова:** транспортное строительство, безотказность, средний срок службы, механизмы разрушения, пролётное строение, мостовое сооружение, агрессивные среды

*Для цитирования:* Огурцов Г.Л., Ермошин Н.А. Метод определения безотказности пролетного строения моста на основе структурно-функционального подхода // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 1. С. 203–216. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-203-216. EDN: WRUPVL

## ORIGINAL ARTICLE

**RELIABILITY DETERMINATION OF BRIDGE SPAN BASED ON STRUCTURAL AND FUNCTIONAL APPROACHES****Gleb L. Ogurtsov, Nikolai A. Ermoshin***Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
Saint-Petersburg, Russia*

**Abstract.** Despite measures taken to improve the quality of design, construction and operation of bridge structures, failures in the structural elements of bridges do not decrease. This is largely due to the intensified traffic flow and aggressive effect of chemically-active atmospheric gases and deicing materials on structural materials. However, regulatory documents on the road and bridge design do not take these factors into account to justify their reliability and durability and suggest to use safety margin coefficients based on retrospective statistical data on traffic and bridge operation. The result is a contradiction between ensuring the bridge safety and scientific and methodological base for solving these issues. It is thus necessary to develop a method for predicting the bridge reliability, which takes into account the joint operation of its structural elements, stochastic nature, dynamic parameters of traffic flow, and a destructive effect of aggressive environment on the bridge during its service life.

**Purpose:** The development of a methodological approach to the assessment and prediction of reliability indicators of reinforced concrete bridge spans.

**Methodology:** The proposed method to determine reliability indicators of bridge spans is based on the mathematical apparatus for structural reliability functions of complex systems, determining the diffusion of liquids and gases and simulating the span operation.

**Research findings:** The distribution density functions of superstructures obtained during the method implementation, taking into account the stochastic nature of the composition and intensity of traffic, technological processes of construction, maintenance of bridge structures and materials used, natural and climatic factors, allow to predict the duration of the inter-repair service of bridges, develop organizational, technical and constructive solutions to improve the bridge safety.

**Keywords:** transport construction, reliability, average service life, destruction mechanisms, superstructure, bridge structure, aggressive environments

**For citation:** Ogurtsov G.L., Ermoshin N.A. Reliability Determination of Bridge Span Based on Structural and Functional Approaches. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (1): 203–216. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-203-216. EDN: WRUPVL

**Введение**

Безопасность работы мостовых сооружений обеспечивается достижением требуемых значений показателей безотказности и долговечности их конструктивных элементов, и в частности пролетных строений. Эти показатели обосновываются в проектных конструктивно-технических решениях, обеспечиваются и поддерживаются на необходимом уровне в ходе строительства, содержания и ремонта мостовых сооружений на уровне нормативных значений.

В соответствии с требованиями нормативно-технических документов (СП 35.13330.2011. Мосты и трубы) безотказность пролетного строения достигается путем соблюдения указанных технических, технологических и конструктивных требований на основе детерминистического подхода обеспечения прочности. Основные расчеты по обеспечению прочности выполняются для каждого конструктивного элемента отдельно без учета структурно-функциональной схемы надежности всего пролетного строения и влияния отказов его конструктивных элементов.

Преждевременные отказы конструктивных элементов происходят вследствие как причинно-определенных, так и случайных факторов, обусловленных вероятностным характером физико-механических характеристик конструктивных материалов, состава и интенсивности транспортного потока, природно-климатических условий, а также ошибками проектирования, нарушениями стабильности и точности технологических процессов, ненадлежащим содержанием мостовых сооружений.

Однако нормирование показателей надежности мостовых сооружений не в полной мере учитывает стохастическую природу прочности конструктивных элементов и осуществляется назначением коэффициента запаса прочности. Этот коэффициент обосновывается данными ретроспективного статистического анализа и не учитывает множество сочетаний как благоприятных, так и деструктивных факторов безотказной работы пролетных строений. В целях повышения безопасности функционирования мостовых сооружений необходимы достоверные методы прогнозирования и оценки безотказности пролетных строений мостов, позволяющие определить наиболее вероятное время работы до отказа для всего пролетного строения с учетом воздействующих факторов износа и его структурно-функциональной схемы.

### Методы и материалы

Мостовое сооружение можно представить в виде совокупности конструктивных подсистем, представляющей в укрупненном виде систему последовательно-соединенных элементов «основание – фундамент – промежуточная/береговая опора – пролетное строение – мостовое полотно» (рис. 1).

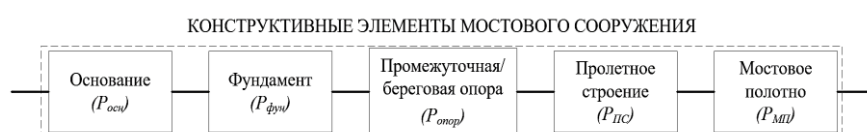


Рис. 1. Структурная схема надежности мостового сооружения  
Fig. 1. Schematic of bridge structure reliability

Отказ одного конструктивного элемента мостового сооружения приводит к его полному отказу. Вероятность безотказной работы  $P_{мс(t)}$  в момент времени  $t$  мостового сооружения определяется по формуле

$$P_{мс(t)} = P_{осн(t)} \cdot P_{фун(t)} \cdot P_{опор(t)} \cdot P_{пс(t)} \cdot P_{мп(t)}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{осн}(t)}$ ,  $P_{\text{фун}(t)}$ ,  $P_{\text{опор}(t)}$ ,  $P_{\text{пс}(t)}$ ,  $P_{\text{мп}(t)}$  – соответственно вероятность безотказной работы грунтового основания, фундамента, промежуточной/береговой опоры, пролетного строения и мостового полотна.

Каждый укрупненный конструктивный элемент, представленный на рис. 1, возможно декомпозировать на более «мелкие» элементы с учетом их конструктивных особенностей и взаимного влияния.

Отказом пролетного строения является состояние, при котором не обеспечиваются транспортно-эксплуатационные показатели мостового сооружения на участке автомобильной дороги – невозможен или ограничен безопасный пропуск транспортных средств заданной интенсивности, скорости и нагрузки на ось [1, 2]. Полный отказ пролетного строения может наступить вследствие зависимых и внезапных отказов его конструктивных элементов. Внезапные отказы могут быть следствием несоблюдения подмостового габарита, в результате чего возникают локальные повреждения, такие как срез рабочей арматуры и разрушение бетона.

Как отмечалось выше, безотказность пролетного строения зависит от прочности конструктивных элементов и определяется его структурно-функциональной схемой надежности. В связи с этим необходимо определить количественные характеристики механизмов разрушения конструктивных элементов, при которых наступает их отказ по прочности, а также установить их взаимное влияние на безотказность пролетного строения.

Пролетное строение железобетонного моста представляет собой систему балок, соединенных двухузловыми упругими связями – монолитной плитой. Образование связей происходит за счет омоноличивания верхней ненапрягаемой арматуры балок. Следовательно, следует рассматривать плитно-ребристое пролетное строение как две подсистемы [3, 4]: плита, полученная при омоноличивании балок, и балки, включающие напрягаемую арматуру (рис. 2).

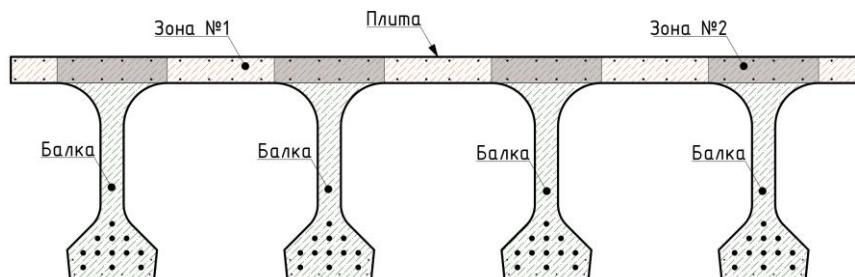


Рис. 2. Конструктивная схема пролетного строения  
Fig. 2. Construction arrangement of bridge span

Конструктивную схему плиты следует декомпозировать на две зоны:

- зону № 1, при отказе участка которой происходит разделение системы пролетного строения без исключения из работы балки пролетного строения;
- зону № 2, при отказе участка которой происходит разделение системы пролетного строения с исключением из работы балки пролетного строения, над которой произошел отказ.

Разрушение участка любой длины зоны № 1 приводит к разделению взаимной работы системы балок пролетного строения без значительного изменения напряженно-деформированного состояния пролетного строения [5]. При этом разрушение плиты приводит к образованию дефектов мостового полотна, в результате которых ограничивается пропускная способность участка автомобильной дороги. Разрушение плиты в зоне № 2 возможно принять эквивалентным отказу балки пролетного строения. Следовательно, отказ элементов плиты не влияет на работу пролетного строения и расчет его безотказности следует производить по главным балкам.

Безотказность работы балки можно считать обеспеченной, если расчетная вероятность разрушения по определенным механизмам достижения предельного состояния не превосходит нормативно установленного значения согласно ГОСТ Р 58137–2018 «Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла». Нормативная вероятность разрушения принимается на основании вероятности причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда [6, 7].

При детерминистическом подходе основные механизмы разрушения балок в начальный момент времени при  $t = 0$  срабатывают, когда одновременно выполняются следующие условия:

$$\tilde{M}_{y,ti} \geq \tilde{M}_{ult,ti}; \quad (2)$$

$$\tilde{f}_{z,ti} \geq f_{ult,i}; \quad (3)$$

$$\tilde{a}_{crc,ti} \geq a_{crc,ult,i}, \quad (4)$$

где  $\tilde{M}_{y,ti}$  – случайная величина изгибающего момента  $i$ -го конструктивного элемента (ПС) в момент времени  $t$ , вызванного внешними нагрузками, кНм;  $\tilde{M}_{ult,ti}$  – случайная величина предельного изгибающего момента  $i$ -го конструктивного элемента в момент времени  $t$ , кНм;  $\tilde{f}_{z,ti}$  – случайная величина вертикальных перемещений  $i$ -го конструктивного элемента, представляющая собой функцию зависимости от изгибающего момента  $\tilde{M}_{y,ti}$  и момента образования трещин  $\tilde{M}_{crc,ti}$ , в момент времени  $t$ , мм;  $f_{ult,i}$  – нормативная величина предельных вертикальных перемещений  $i$ -го конструктивного элемента, мм;  $\tilde{a}_{crc,ti}$  – случайная величина ширины раскрытия трещин, мм, определяемая по условию

$$\tilde{a}_{crc,ti} = \begin{cases} 0 & \text{при } \tilde{M}_{y,ti} < \tilde{M}_{crc,ti}; \\ \tilde{a}_{(\tilde{f}_{z,ti}),ti} & \text{при } \tilde{M}_{y,ti} \geq \tilde{M}_{crc,ti}; \end{cases} \quad (5)$$

$a_{crc,ult,i}$  – нормативная величина ширины раскрытия трещины  $i$ -го конструктивного элемента, мм,  $a_{crc,ult} = 0,15$  (СП 35.13330.2011. Мосты и трубы).

В процессе эксплуатации работоспособным состоянием конструктивного элемента является состояние, при котором условия (2) – (4) не выполняются.

В случае, когда одно или два условия (3) и (4) выполняются, конструктивный элемент переходит в ограниченно-работоспособное состояние, называемое частичным отказом. Если условие (2) выполняется, то конструктивный элемент переходит в неработоспособное состояние, т. е. наступает его полный отказ.

Оценку безотказности пролетного строения принято выполнять для воздействия от нормативной подвижной нагрузки типа АК, которая располагается в центре пролета (рис. 3) по четырем полосам движения согласно СП 35.13330.2011.

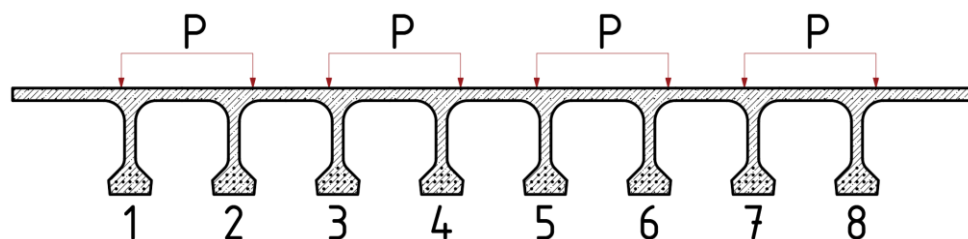


Рис. 3. Расположение подвижной нагрузки АК на пролетном строении  
Fig. 3. Location of live load on span structure

Для определения структурно-функциональной схемы надежности пролетного строения принят метод прямого перебора, который заключается в последовательном исключении из работы балок пролетного строения и плит омоноличивания. Выходные параметры каждого состояния заносятся в таблицу, и на их основании выполняется определение влияния отказа  $i$ -х конструктивных элементов на работоспособное состояние. Всё множество состояний пролетного строения разделяется на два подмножества: подмножество состояний работоспособности системы  $A$  и подмножество состояний отказа системы  $B$ . За критерий отказа балки пролетного строения принято превышение значения предельного изгибающего момента  $\tilde{M}_{ult}$  результирующим моментом (усилием)  $M_y$ , создаваемым в балке от действия расчетной подвижной нагрузки по условию (2). На основании результатов проведенных моделирований [8] принято допущение, что предельный изгибающий момент является случайной величиной, подчиняющейся закону бета-распределения с минимальным значением 7479,69 кНм и максимальным значением 9121,81 кНм (рис. 4). Плотность бета-распределения описывается формулой

$$f_{M_{ult}} = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}, \quad (6)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры формы,  $\alpha = 5,47$  и  $\beta = 3,21$  для  $i$ -й балки пролетного строения.

Оценка влияния внезапного отказа балки на работоспособность пролетного строения производилась с применением численного моделирования в программном комплексе Midas CIVIL, позволяющем определить параметры напряженно-деформированного состояния пролетного строения методом конечных элементов.

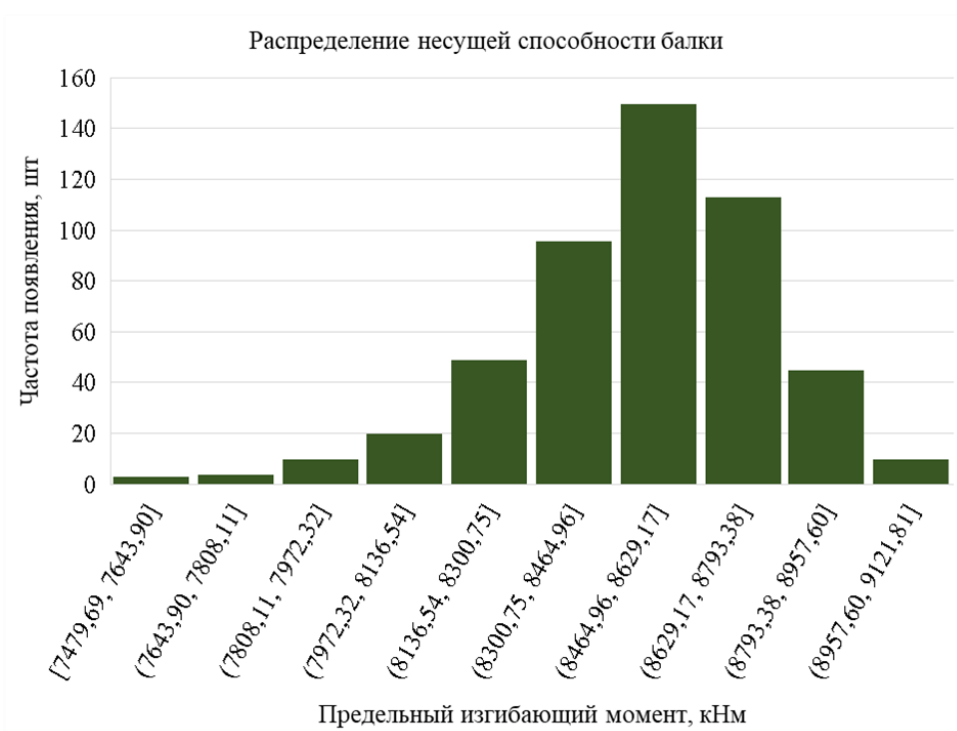


Рис. 4. Плотность распределения несущей способности балки пролетного строения

Fig. 4. Probability density function of the load-bearing capacity of the bridge span

Вероятности безотказной работы балок вычислялись как отношение числа испытаний, при которых значение предельного изгибающего момента балок больше, чем создаваемый изгибающий момент, к общему количеству испытаний (таблица).

## Возможные события

## Expected events

Индекс состояния	№ балки пролетного строения	Изгибающий момент, кНм	Вероятность безотказной работы балки	Подмножество состояний
1 (8)	1	—	—	A
	2	8195,20	0,89	
	3	5669,33	0,99	
	4	5119,02	0,99	
	5	4896,41	0,99	
	6	4894,29	0,99	
	7	5053,66	0,99	
	8	5286,38	0,99	

Окончание таблицы  
End of table

Индекс состояния	№ балки пролетного строения	Изгибающий момент, кНм	Вероятность безотказной работы балки	Подмножество состояний
2 (7)	1	7307,87	0,99	A
	2	—	—	
	3	6632,22	0,99	
	4	5165,67	0,99	
	5	4892,71	0,99	
	6	4883,81	0,99	
	7	5033,83	0,99	
	8	5272,57	0,99	
...				
12 (78)	1	—	—	B
	2	—	—	
	3	10057,36	0,00	
	4	6417,16	0,99	
	5	5602,18	0,99	
	6	5340,39	0,99	
	7	5342,13	0,99	
	8	5454,50	0,99	
...				
456	1	6223,25	0,99	B
	2	6680,76	0,99	
	3	9314,10	0,00	
	4	—	—	
	5	—	—	
	6	—	—	
	7	9558,60	0,00	
	8	6922,71	0,99	

Примечание. «—» обозначены балки, которые исключены из работы системы.

Результаты прямого перебора демонстрируют, что система пролетного строения имеет сложную структуру с последовательно-параллельными элементами, в которой отказ трех последовательных балок или отказ двух из трех крайних балок приводит к зависимым отказам (рис. 5), т. е. начинается процесс лавинообразного обрушения.



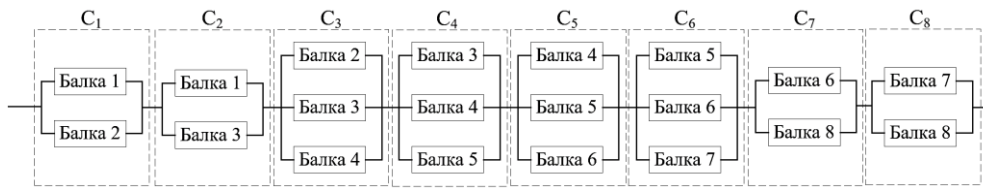


Рис. 5. Структурная схема надежности пролетного строения  
Fig. 5. Schematic of span structure reliability

Построение структурной схемы надежности балочного пролетного строения на основе результатов численного моделирования позволяет определить вероятность его безотказной работы.

Ввиду неравномерности нагружения транспортным потоком вероятности отказов блоков будут неодинаковы. Следовательно, вероятность безотказной работы каждого последовательно-соединенного блока  $C$  описывается формулой

$$P_C = 1 - \prod_{i \in C} (1 - p_i), \quad (7)$$

где  $p_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -й балки пролетного строения, принадлежащей к блоку  $C = 1, 2, \dots, b$ .

Вероятность безотказной работы всей системы пролетного строения (как последовательной структуры) определяется по формуле

$$P_{(t)} = \prod_{C=1}^b P_C = \prod_{C=1}^b \left( 1 - \prod_{i \in C} (1 - p_i) \right). \quad (8)$$

Обеспечение прочности пролетного строения зависит от каждого конструктивного элемента в любой момент времени  $t$ . Балка пролетного строения относится к стареющей системе [11, 12, 13], вероятность безотказной работы которой ( $p_{i(t)}$ ) описывается экспоненциальным законом распределения:

$$p_{i(t)} = e^{-\lambda_i t}, \quad (9)$$

где  $t$  – время наработки пролетного строения или его балки, лет;  $\lambda_i$  – интенсивность отказа  $i$ -й балки пролетного строения, которую возможно определить через математическое ожидание  $M_i$  времени наработки на отказ по формуле

$$\lambda_i = \frac{1}{M_i}. \quad (10)$$

На основании результатов обследований мостовых сооружений [9, 10, 14] выявлено, что существует период времени ( $t_n$ ), в ходе которого происходит инициирование процессов деградации, таких как коррозия арматуры, накопление усталостных макротрещин в арматуре и бетонном камне. Продолжительность данного периода времени зависит от принятых конструктивно-технологических решений [15]. С учетом этого отказ  $i$ -й балки будет зависеть от данного периода и определяться по формуле

$$P_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t < t_n; \\ e^{-\lambda_i(t-t_n)} & \text{при } t \geq t_n. \end{cases} \quad (11)$$

СП 35.13330.2011 установлено требование, что математическое ожидание времени работы на отказ пролетного строения составляет 100 лет. Фактически период инициирования процессов деградации и математическое ожидание времени работы на отказ являются многомерными случайными величинами, которые зависят от совокупности воздействующих внешних факторов. Ввиду многомерности и сложности аналитического описания функции распределения времени безотказной работы балки и показателей его рассеивания, целесообразно установить ее вид методами имитационного моделирования или методом подобию.

На основании выявленной закономерности можно определить все статистические характеристики безотказности. Тогда среднее время работы до отказа вычисляется по общей формуле

$$T = \int_0^{\infty} P_i(t) dt. \quad (12)$$

Вероятность обеспечения гамма-процентного срока службы  $t_\gamma$  определяется по формуле

$$P_{(t_\gamma)} = 1 - \frac{\gamma}{100}, \quad (13)$$

где  $\gamma$  – заданный уровень, вероятность, при котором не наступает отказ, %.

### Результаты

Реализация метода выполнена для пролетного строения, структурная схема которого представлена на рис. 5. По объекту-аналогу определено, что время наработки на отказ для балок 1–2 (7–8) составляет 75 лет, а для балок 3–6 – 100 лет. Время от момента ввода в эксплуатацию до начала значимых деградационных процессов составляет 5 лет. Необходимо определить остаточный срок службы и вероятность безотказной работы на 50-й год эксплуатации.

Для каждого конструктивного элемента (балки) определяется интенсивность отказа по формуле (11), где вместо математического ожидания применяются значения времени наработки на отказ. Далее, по формуле (10) вычисляется вероятность безотказной работы каждого  $i$ -го элемента на срок эксплуатации 50 лет:

$$P_1 = P_2 = P_7 = P_8 = e^{-\frac{1}{75}(50-10)} = 0,587;$$

$$P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = e^{-\frac{1}{100}(50-10)} = 0,670.$$

Вычисление вероятности безотказной работы каждого блока осуществляется по формуле (8):

$$P_1 = P_8 = 0,829;$$

$$P_2 = P_7 = 0,864;$$

$$P_3 = P_6 = 0,955;$$

$$P_4 = P_5 = 0,964.$$

Отсюда вероятность безотказной работы всего пролетного строения вычисляется по формуле (9):

$$P = \prod_{C=1}^{b=8} P_B = 0,435.$$

Вероятность безотказной работы на 50-й год эксплуатации составила 0,435. На основании расчетов построен график зависимости вероятности безотказной работы пролетного строения и его элементов от времени эксплуатации моста (рис. 6).

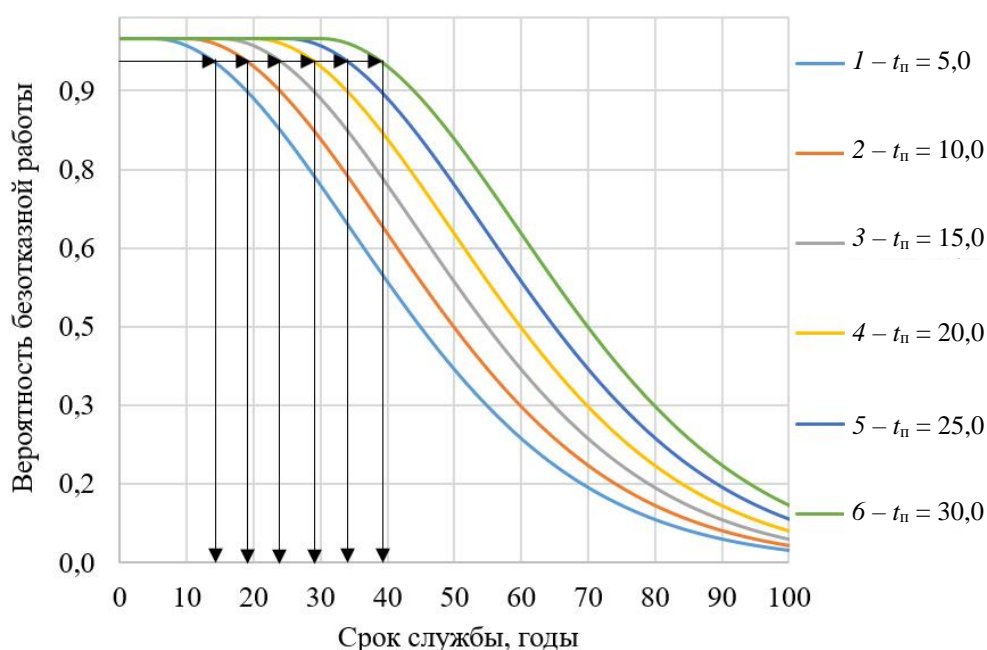


Рис. 6. Вероятность безотказной работы пролетного строения в течение срока службы при различных периодах времени иницирования процессов деградации  $t_n$

Fig. 6. Probability of failure-free operation of span structure during its service life at different time periods of degradation process initiation

Выявленные в ходе имитационного моделирования зависимости и их графическая интерпретация позволяют определять сроки выполнения ремонтных работ в соответствии с принятыми конструктивно-технологическими решениями на стадии проектирования и строительства в заданных условиях эксплуатации. Так, по характеру кривой 1 можно установить необходимость выполнения ремонтно-восстановительных работ на 14-м году. Дальнейшее снижение вероятности безотказности приведет к утрате работоспособности. Среднее время работы до отказа, вычисленное по зависимости (12), составляет 44 года 300 дней. Однако среднее время работы до отказа для балок пролетного строения состав-

вило 70 лет 185 дней и 83 года 283 дня соответственно. В зависимости от механизмов деградации возможно предпринять меры по увеличению среднего срока службы. Таковыми могут быть: увеличение защитного слоя бетона, уменьшение водоцементного отношения, повышение поперечного сечения рабочей арматуры, окраска открытых поверхностей бетона, отказ от применения солей-антиобледенителей при зимнем содержании, контроль весовых и габаритных характеристик транспортных средств, снижение плотности потока. Научное обоснование функций плотности распределений времени безотказной работы для этих мероприятий является направлением дальнейших исследований.

Предложенный метод определения безотказности позволяет оценить качество конструктивно-технологических решений на стадии проектирования мостовых сооружений, вероятность безотказной работы и среднее время работы пролетного строения до отказа с учетом состава и интенсивности транспортного потока, природно-климатических условий и технологий эксплуатации мостов, воздействующих агрессивных факторов, а также продолжительность межремонтных периодов и сроки проведения ремонтно-восстановительных работ.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Савчинский Б.В. Критерии оценки надежности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2007. № 19. С. 229–231.
2. Сафронов В.С., Антипов А.В., Черников А.В. Надежность и долговечность сборно-монолитного плитного пролетного строения автодорожного моста // Строительная механика и конструкции. 2019. Т. 2. № 21. С. 76–88. EDN: RNJLAX
3. Сафронов В.С., Мельхиор Н. Показатели надежности железобетонных пролетных строений проектируемых автодорожных мостов для современных российских и европейских нормативных временных нагрузок // Строительная механика и конструкции. 2020. Т. 2. № 25. С. 44–57. EDN: ZGFFJM
4. Козак Н.В., Сырков А.В., Быстров В.А., Ярошутин Д.А. Анализ влияния отказов элементов объединения на эксплуатационную надежность сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов // Транспортные сооружения. 2023. Т. 10. № 3. URL: <https://t-s.today/PDF/07SATS323.pdf>. DOI: 10.15862/07SATS323
5. Краснощеков Ю.В. О безопасности железобетонных мостов с плитными пролетными строениями // Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15. № 6 (64). С. 922–932. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-6-922-932>
6. International Organization of Standardization ISO 2394:2015 – General principles of reliability for structures, 2015.
7. Тур В.В., Тур А.В., Дереченник С.С. О назначении требуемых мер надежности при разработке национальных нормативных документов по проектированию строительных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета. 2020. № 1. С. 2–15. DOI: 10.36773/1818-1212-2020-119-1-2-15
8. Хан Д.Д., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах / пер. с англ. Е.Г. Коваленко ; под ред. В.В. Налимова. Москва : Мир, 1969. 395 с.
9. Шестовицкий Д.А. Обоснование надежности и сроков службы проектируемых мостов // Дороги и мосты. 2021. № 2. С. 203–227.
10. Белый А.А., Мячин В.Н., Вукотов С.А. Методика оценки и прогнозирования надежности постоянных мостовых переходов на автомобильных дорогах оборонного значения // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения. 2021. № 2. С. 105–111.
11. Кандаева И.В., Бородай Д.И. Исследование надежности железобетонных пролетных строений автодорожного путепровода // Современное промышленное и гражданское строительство. 2017. Т. 13. № 2. С. 47–56. EDN: YZLGJJ

12. Белый А.А., Андрушко С.Б. Пути повышения надежности эксплуатации железобетонных мостов для пропуска сверхнормативной нагрузки // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. Т. 15. № 1. С. 17–29.
13. Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Алексеев А.А. К вопросу прогнозирования динамической надежности пролетных строений мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 6. С. 170–181. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-170-181
14. Medina P.A., González F.J.L., Todisco L. Data-driven prediction of long-term deterioration of RC bridges // Construction and Building Materials. 2022. V. 317. P. 125790.
15. Белый А.А. Вероятностное прогнозирование технического состояния эксплуатируемых железобетонных мостовых сооружений мегаполиса // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2. С. 64–74. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-2-64-74

## REFERENCES

1. Savchinsky B.V. Assessment Criteria of Reliability of Reinforced Concrete Span Structures of Road Bridges. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta*. 2007; (19): 229–231. (In Russian)
2. Safronov V.S., Antipov A.V., Chernikov A.V. Reliability and Durability of Prefabricated-Monolithic Slab Span Structures of Road Bridges. *Stroitel'naya mekhanika i konstruktiv. 2019; 2(21): 76–88. (In Russian)*
3. Safronov V.S., Melkhior N. Reliability Indicators of Reinforced Concrete Span Structures of Bridges Designed for Live Load Standard in Russia and Europe. *Stroitel'naya mekhanika i konstruktiv. 2020; 2 (25): 44–57. EDN: ZGFFJM (In Russian)*
4. Kozak N.V., Syrkov A.V., Bystrov V.A., Yaroshutin D.A. Analysis of Element Failure on Reliability of Composite Steel Bridge Spans. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2023;10 (3). Available: <https://t-s.today/PDF/07SATS323.pdf>. DOI: 10.15862/07SATS323 (In Russian)
5. Krasnoshchekov Yu.V. Safety of Reinforced Concrete Bridges with Slab Spans. *Vestnik Sibirskoi gosudarstvennoi avtomobil'no-dorozhnoi akademii*. 2018; 15 (6 (64)): 922–932. (In Russian)
6. International Organization of Standardization ISO 2394:2015 – General principles of reliability for structures, 2015.
7. Tur V.V., Tur A.V., Derechennik S.S. On Required Reliability Measures on Development of National Regulatory Documents for Structural Design. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020; (1): 2–15. DOI: 10.36773/1818-1212-2020-119-1-2-15 (In Russian)
8. Hahn G., Shapiro S. Statistical Models in Engineering. Moscow: Mir, 1969. 395 p. (Russian translation)
9. Shestovitsky D.A. Reliability Justification and Service Life of Bridges. *Dorogi i mosty*. 2021; (2): 203–227. (In Russian)
10. Bely A.A., Myachin V.N., Vukolov S.A. Assessment Methodology and Reliability Prediction of Permanent Bridge Crossings on Roads of Strategic Importance. *Vestnik Voennoi akademii material'no-tekhnicheskogo obespecheniya*. 2021; (2): 105–111. (In Russian)
11. Kandaeva I.V., Boroday D.I. Reliability of Reinforced Concrete Span Structures of Highway Overpasses. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017; 13 (2): 47–56. EDN: YZLGJJ (In Russian)
12. Bely A.A., Andrushko S.B. Operational Reliability Improvement of Reinforced Concrete Bridges for Handling Over-Normative Loads. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya*. 2018; 15 (1): 17–29. (In Russian)
13. Kartopol'tsev V.M., Kartopol'tsev A.V., Alekseev A.A. Towards Predicting Dynamic Reliability of Bridge Spans. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24 (6): 170–181. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-170-181 (In Russian)
14. Medina P.A., González F.J.L., Todisco L. Data-Driven Prediction of Long-Term Deterioration of RC Bridges. *Construction and Building Materials*. 2022; 317: 125790.
15. Bely A.A. Probabilistic Forecasting of Technical Condition of Reinforced Concrete Bridges in Urban Areas. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017; (2): 64–74. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-2-64-74 (In Russian)

**Сведения об авторах**

*Огурцов Глеб Леонидович*, ассистент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, литер Б, ogurtsov\_gl@spbstu.ru

*Ермошин Николай Алексеевич*, докт. военных наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, литер Б, ermoshin\_na@spbstu.ru

**Authors Details**

*Gleb L. Ogurtsov*, Assistant Lecturer, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29, Politekhnikeskaya Str., 195251, Saint-Petersburg, Russia, ogurtsov\_gl@spbstu.ru

*Nikolai A. Ermoshin*, DSc, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29, Politekhnikeskaya Str., 195251, Saint-Petersburg, Russia, ermoshin\_na@spbstu.ru

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Authors contributions**

The authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.12.2024  
Одобрена после рецензирования 12.01.2025  
Принята к публикации 13.01.2025

Submitted for publication 06.12.2024  
Approved after review 12.01.2025  
Accepted for publication 13.01.2025