

Научная статья
УДК 624.04
doi:10.52170/1815-9265_2026_81_26

Концепция живучести как фактор экологически рационального проектирования мостовых сооружений

Илья Игоревич Овчинников^{1✉}, Игорь Георгиевич Овчинников²

^{1, 2} Тюменский индустриальный университет, Тюмень; Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹ Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина, Саратов, Россия

¹ bridgeart@mail.ru✉

² bridgesar@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема интеграции концепции живучести в методологию экологически рационального проектирования мостовых сооружений. Существующие подходы к устойчивому развитию в мостостроении фокусируются на экономических и экологических аспектах штатной эксплуатации, практически не учитывая риски запроектных воздействий и прогрессирующего разрушения. Аварии, даже локальные, могут свести на нет экологические преимущества проекта и потребовать колоссальных затрат на ликвидацию последствий.

На основе обобщения работ А. В. Перельмутера, А. Г. Тамразяна и анализа статистики аварий мостов предложены количественные критерии оценки живучести. Коэффициент живучести $K_{\text{жив}}$ определяется как отношение несущей способности поврежденной конструкции к расчетному усилию при отказе одного или нескольких элементов. Показатель экологического риска $R_{\text{эк}}$ учитывает вероятность запроектного воздействия, условные вероятности повреждения и прогрессирующего разрушения, а также отношение стоимости ликвидации последствий к стоимости строительства. Представлен алгоритм проектирования мостовых сооружений с учетом требований живучести, включающий идентификацию уязвимых элементов, анализ сценариев локального отказа и проверку коэффициента живучести. Обоснованы зоны ответственности элементов: опорных частей, пилонов, вант, подвесок, пролетных строений. Рекомендуемые значения коэффициента живучести составляют от 1,0 для второстепенных элементов до 1,3 для пилонов. Рассмотрены две концепции «идеального» мостового сооружения, объединяющие долговечность, ремонтпригодность и живучесть. Обеспечение живучести является необходимым условием подлинной устойчивости транспортной инфраструктуры. Сделан вывод о необходимости учета сценариев запроектных воздействий при оценке жизненного цикла сооружений. Разработка численных методов реализации предложенных критериев и их верификация на конкретных типах мостовых конструкций составляют цель дальнейших исследований.

Ключевые слова: мостовое сооружение, устойчивое развитие, экологически рациональное проектирование, прогрессирующее разрушение, живучесть, коэффициент живучести, экологический риск, запроектные воздействия, долговечность

Для цитирования: Овчинников И. И., Овчинников И. Г. Концепция живучести как фактор экологически рационального проектирования мостовых сооружений // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 4 (81), спецвыпуск. С. 26–32. DOI 10.52170/1815-9265_2026_81_26.

Original article

The concept of survivability as a factor in the sustainable design of bridge structures

Ilya I. Ovchinnikov^{1✉}, Igor G. Ovchinnikov²

^{1, 2} Tyumen Industrial University, Tyumen; Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹ Yury A. Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia

¹ bridgeart@mail.ru✉

² bridgesar@mail.ru

Abstract. This article examines the problem of integrating the concept of survivability into the methodology of sustainable design of bridge structures. Existing approaches to sustainable development in bridge construction focus on the economic and environmental aspects of normal operation, with little consideration of the risks of beyond-design-basis impacts and progressive deterioration. Accidents, even local ones, can negate the environmental benefits of a project and require enormous remediation costs.

Based on a summary of the works of A. V. Based on the work of Perelmuter, A. G. Tamrazyan, and an analysis of bridge failure statistics, quantitative criteria for assessing survivability are proposed. The survivability coefficient K_v is defined as the ratio of the bearing capacity of the damaged structure to the estimated force in the event of failure of one or more elements. The environmental risk indicator R_{eco} takes into account the probability of beyond-design impact, the conditional probabilities of damage and progressive destruction, and the ratio of the cost of mitigation of the consequences to the cost of construction. An algorithm for designing bridge structures taking into account survivability requirements is presented, including the identification of vulnerable elements, an analysis of local failure scenarios, and a verification of the survivability coefficient. The areas of responsibility of the following elements are substantiated: bearing parts, pylons, cables, suspensions, and superstructures. The recommended values of the survivability coefficient range from 1.0 for secondary elements to 1.3 for pylons. Two concepts of an “ideal” bridge structure are considered, combining durability, maintainability, and survivability. Ensuring survivability is a prerequisite for the true sustainability of transport infrastructure. A conclusion is drawn on the need to take beyond-design impact scenarios into account when assessing the life cycle of structures. The development of numerical methods for implementing the proposed criteria and their verification on specific types of bridge structures are the goals of further research.

Keywords: bridge structure, sustainable development, environmentally sound design, progressive deterioration, survivability, survivability coefficient, environmental risk, beyond design basis impacts, durability

For citation: Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G. The concept of survivability as a factor in the sustainable design of bridge structures. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(81):26–32. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_81_26.

Введение

Концепция устойчивого развития, предполагающая баланс интересов общества, экономики и охраны окружающей среды, становится определяющей в современном строительстве. Транспортная инфраструктура, включая мостовые сооружения, потребляет значительную долю природных ресурсов и энергии, что делает актуальным внедрение принципов экологически рационального проектирования [1, 2].

Зарубежные исследования последних лет подчеркивают необходимость интеграции принципов устойчивого развития во все этапы жизненного цикла мостов – от планирования до эксплуатации и утилизации [1]. При этом отмечается, что устойчивость следует рассматривать как системное свойство, требующее трансформации подходов к проектированию с учетом теорий системных инноваций [3]. В российской научной школе также уделяется внимание проблемам долговечности и экологической безопасности транспортных сооружений [4, 5].

Однако анализ существующих методов оценки устойчивости развития выявляет существенный пробел: они фокусируются на экономической эффективности и снижении экологического ущерба в штатных условиях эксплуатации, но практически не учитывают риски, связанные с аварийными и запроектными воздействиями. Между тем авария, даже локальная, может не только свести на нет все экологические преимущества проекта, но и потребовать колоссальных затрат ресурсов на

ликвидацию последствий. В связи с этим возникает необходимость интеграции концепции живучести сооружения в общую парадигму экологически рационального проектирования.

Теоретические исследования

Проблема аварийности мостов не теряет актуальности. Как показывают исследования [6], количество разрушений мостов со временем не снижается, а ущерб от них возрастает. Причины аварий разделяют на три группы: катастрофические природные воздействия (до 60 %), ошибки проектирования и строительства (около 30 %) и нарушения правил эксплуатации (до 10 %). При этом к разрушению чаще приводит не один фактор, а их неблагоприятное сочетание.

Наиболее опасным сценарием является прогрессирующее (цепное) разрушение – последовательный выход из строя несущих конструкций, инициированный локальным повреждением, с конечным результатом, непропорциональным масштабам первоначального воздействия. Классическим примером отсутствия живучести является обрушение 22-этажного панельного дома Ronan Point в Лондоне в 1968 г., где локальный взрыв газа привел к прогрессирующему обрушению всей конструкции. Этот случай послужил толчком к разработке первых нормативных требований по живучести зданий и сооружений [7]. В мостостроении аналогичными примерами служат разрушение висячего моста «Такома-Нэрроуз» в 1940 г., вызванное аэродинамической неустойчивостью, моста Guangdong Jiujiang в Китае (2007) из-за навала судна на опоры, а

также обрушение моста Haeng-Ju Grand Bridge в Корее (1992) [8].

А. В. Перельмутер сформулировал ключевые тезисы о прогрессирующем разрушении, применимые и к мостам: локальные отказы возможны; цепное развитие разрушения наиболее опасно; защита возможна не только резервированием прочности; необходимо учитывать динамические эффекты; следует искать способы локализации разрушения [9, 10]. Как отмечает А. Г. Тамразян, «живучесть конструкции – это ее способность частично выполнять свои функции при разрушении отдельных элементов, а целью требований к живучести является уменьшение чувствительности сооружений к непредвиденным (запроектным) нагрузкам и дефектам, которые не включены в нормы и расчетные требования». [7]

В работах [4, 5] предложена концепция «идеального сооружения». Первый подход предполагает создание конструкции из элементов с одинаковой долговечностью и скоростью деградации. Теоретически это позволило бы отказаться от ремонтов, однако практическая реализация опасна: одновременное достижение всеми элементами предельного состояния грозит внезапным катастрофическим обрушением.

Более реалистичен второй подход – принцип иерархической долговечности. Согласно ему срок службы вышерасположенных, легкодоступных элементов (дорожной одежды, деформационных швов) может быть меньше, чем у основных несущих конструкций. Однако долговечность элементов, отказ которых может инициировать прогрессирующее разрушение (например, опорных частей), должна быть не ниже долговечности связанных с ними вышерасположенных ответственных конструкций.

Традиционный ресурс резино-металлических опорных частей часто не превышает 15–20 лет, в то время как пролетные строения проектируются на 50–100 лет. Замена опорных частей – сложная операция, требующая поддомкрачивания пролетного строения, что само по себе создает риски повреждений и аварийных ситуаций. С позиций синергии экологичности и живучести такое положение недопустимо.

Примером решения проблемы служит разработка немецкой фирмой Maurer Söhne материала скольжения MSM®, обладающего

сверхнизким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Применение таких материалов позволяет создавать опорные части, срок службы которых сопоставим с долговечностью пролетных строений, что исключает необходимость опасных вмешательств в несущую систему на протяжении всего жизненного цикла [11].

Для практической реализации концепции живучести необходимо введение численных критериев, позволяющих количественно оценивать способность конструкции противостоять прогрессирующему разрушению. В настоящей работе на основе обобщения подходов, предложенных в [7, 9, 10], предлагаются два взаимосвязанных критерия: коэффициент живучести $K_{\text{жив}}$ и показатель экологического риска $R_{\text{эк}}$.

Коэффициент живучести $K_{\text{жив}}$ определяется как отношение несущей способности поврежденной конструкции $R_{\text{повр}}$ к расчетному усилию от нормативной нагрузки $S_{\text{расч}}$ при условии отказа одного (или нескольких) заданных элементов:

$$K_{\text{жив}} = R_{\text{повр}} / S_{\text{расч}}. \quad (1)$$

При $K_{\text{жив}} \geq 1$ поврежденная конструкция сохраняет несущую способность (живучесть обеспечена). При $K_{\text{жив}} < 1$ требуется либо усиление конструкции, либо замена элемента (элементов) до того, как повреждение приведет к прогрессирующему обрушению.

Для учета сценариев отказов различных элементов вводится системный коэффициент живучести системы:

$$K_{\text{жив}}^{\text{сист}} = \min_{i=1}^n \frac{R_{\text{повр } i}}{S_{\text{расч } i}}, \quad (2)$$

где i – рассматриваемый сценарий локального отказа (выход из строя опорной части, обрыв ванта, потеря устойчивости несущего элемента и т. д.).

Значение $K_{\text{жив}}^{\text{сист}}$ определяется по наихудшему сценарию.

Второй критерий – показатель экологического риска $R_{\text{эк}}$ связывает вероятность отказа с экологическими последствиями. На основе вероятностной модели, предложенной А. Г. Тамразяном [7], данный показатель может быть определен как

$$R_{\text{эк}} = P(E)P(D|E)P(C|D)C_{\text{ликв}} / C_{\text{соор}}, \quad (3)$$

где $P(E)$ – вероятность возникновения запроектного воздействия; $P(D|E)$ – условная веро-

ятность повреждения конструкции при данном воздействии; $P(C|D)$ – вероятность прогрессирующего разрушения при условии повреждения; $C_{ликв}$ – стоимость ликвидации последствий и восстановления; $C_{соор}$ – стоимость строительства сооружения.

Проект считается экологически приемлемым, если $R_{эк}$ не превышает заданного порогового значения. Разработка конкретных численных значений порогов требует отдельного исследования и в настоящей работе не рассматривается.

В таблице приведены рекомендуемые значения коэффициента живучести для различных элементов мостового сооружения. Предложенные значения $K_{жив}$ базируются на анализе работ отечественных исследователей, а также на обобщении данных об авариях мостовых сооружений [6].

Для опорных частей $K_{жив} \geq 1,2$. Согласно данным [6] анализ аварий мостов показывает, что отказ опорных частей является одной из наиболее частых причин инициирования прогрессирующего разрушения (до 15 % аварий связаны с опорными частями). А. Г. Тамразян [7, 12, 13] отмечает, что для ключевых элементов, отказ которых приводит к отказу всего сооружения или значительной его части, необходим дополнительный коэффициент безопасности. В работе [7] обоснован коэффициент 1,2 для ключевых элементов, определяемый из условия равенства надежности системы с параллельными элементами и системы с одним ключевым элементом.

Для пилонов вантовых и висячих мостов $K_{жив} \geq 1,3$. Потеря устойчивости пилона практически всегда влечет за собой полное обрушение всего сооружения [8]. Повышенный ко-

эффициент 1,3 обусловлен особой ответственностью этих элементов и отсутствием альтернативных путей передачи нагрузки. Данное значение согласуется с требованиями к особо ответственному элементу по классификации последствий отказов [7].

Для вант и подвесок $K_{жив} \geq 1,1$. Статистика [6] показывает, что обрыв одной ванты (подвески) не всегда приводит к обрушению всего моста благодаря высокой статической неопределимости вантовых систем. Коэффициент 1,1 учитывает упругопластическую работу материалов и динамический эффект при обрыве [9, 10].

Для пролетных строений $K_{жив} \geq 1,05$. Этот коэффициент применим при наличии системы мониторинга, позволяющей своевременно обнаружить трещинообразование. Допуск 5 % связан с тем, что после появления усталостных трещин главная балка может сохранять несущую способность в течение некоторого времени (остаточный ресурс). При отсутствии системы мониторинга коэффициент должен быть повышен до 1,15–1,20 [4, 5].

Для второстепенных элементов связи $K_{жив} \geq 1,0$. Элементы, не входящие в основные несущие системы, при условии их конструктивной обособленности не требуют запаса по живучести, если их отказ локализован и не влияет на несущую способность главных элементов. Это положение обосновано в работах А. В. Перельмутера [9, 10].

На основе проведенного анализа и с учетом рекомендаций, изложенных в [7], предлагается следующий алгоритм проектирования, интегрирующий требования живучести в процедуру экологически рационального проектирования:

1. Идентификация потенциально уязвимых элементов (опорные части, узлы под-

Зоны ответственности элементов и рекомендуемые значения коэффициента живучести

Элемент сооружения	Характер отказа	Рекомендуемый $K_{жив}$	Примечание
Опорные части	Потеря подвижности, выдавливание материала	$\geq 1,2$	Один из наиболее критичных элементов
Пилоны вантовых и висячих мостов	Потеря устойчивости	$\geq 1,3$	Для особо ответственных сооружений
Ванты и подвески	Обрыв каната	$\geq 1,1$	Допускается пластическое перераспределение
Пролетные строения (главные балки)	Трещина в растянутой зоне	$\geq 1,05$	При наличии системы мониторинга
Второстепенные элементы связи	Местное повреждение	$\geq 1,0$	При условии локализации разрушения

вески, ванты, пилоны) на основе классификации, приведенной в таблице.

2. Анализ сценариев локального отказа каждого из уязвимых элементов, включая за-проектные воздействия (навал судна, взрыв, землетрясение и т. д.).

3. Расчет перераспределения усилий в системе после отказа (статический или динамический анализ).

4. Определение коэффициента живучести $K_{\text{жив}}$ для каждого сценария.

5. Если $K_{\text{жив}} < 1$ для любого сценария – изменение конструктивной схемы: повышение статической неопределимости, резервирование элементов, устройство дополнительных связей, применение материалов с повышенной деформативностью.

6. Оценка экологического риска $R_{\text{эк}}$ с учетом вероятности отказа и стоимости восстановления.

7. Принятие окончательного проектного решения.

Включение критериев живучести в методологию экологически рационального проектирования требует переосмысления оценки жизненного цикла. Недостаточно суммировать затраты энергии и выбросы на этапах производства и эксплуатации – необходимо учитывать риски и последствия аварийных сценариев.

Если конструкция спроектирована без учета живучести, локальный отказ – коррозия подвески, навал судна, ошибка при выполнении строительно-монтажных работ – может привести к необходимости полной замены сооружения. Энергетические и материальные затраты на это многократно превысят любую экономию, достигнутую на этапе проектирования за счет оптимизации сечений или использования дешевых материалов.

С этой точки зрения проектирование с высокой живучестью следует рассматривать не как дополнительное обременение, увеличивающее стоимость, а как инвестицию в экологическую безопасность и устойчивость. Система, способная «прощать» локальные повреждения и сохранять целостность при запроектных воздействиях, предотвращает необходимость масштабного восстановления со всеми вытекающими экологическими издержками.

Практическая реализация проектирования с учетом живучести достигается комплексом конструктивных и технологических мер [5, 9, 10]:

- повышением статической неопределимости системы, что обеспечивает перераспределение усилий при отказе отдельных элементов;

- применением материалов с повышенными прочностными и деформативными характеристиками в узлах и потенциально уязвимых местах;

- обеспечением альтернативных путей передачи нагрузки на случай выхода из строя какого-либо несущего элемента;

- целенаправленной защитой ключевых элементов (опор, пилонов, вант, подвесок) от коррозии, ударов и прочих воздействий;

- разработкой и внедрением эффективных систем мониторинга, позволяющих своевременно выявлять и устранять локальные дефекты до того, как они смогут инициировать цепную реакцию разрушения.

Особое значение приобретает мониторинг в сочетании с принципом иерархической долговечности. Контроль за состоянием элементов с меньшим нормативным сроком службы позволяет планировать их плановую замену, не допуская перехода локальных повреждений в категорию аварийных.

Таким образом, живучесть становится не просто характеристикой конструктивной безопасности, но и важнейшим критерием экологической эффективности, обеспечивающим минимизацию совокупного воздействия на окружающую среду с учетом всего спектра сценариев жизненного цикла, включая запроектные. Предложенные количественные критерии ($K_{\text{жив}}$ и $R_{\text{эк}}$) и алгоритм проектирования позволяют на практике реализовать описанную концепцию. Только такой комплексный подход, объединяющий заботу об экологии с безусловным приоритетом безопасности, позволяет перейти к подлинно устойчивому развитию транспортной инфраструктуры.

Заключение

В работе показано, что существующие подходы к экологически рациональному проектированию, фокусируясь на экономических и экологических аспектах, недостаточно учитывают проблемы безопасности при запроек-

ных воздействиях. Обоснована необходимость включения критериев живучести в парадигму устойчивого развития.

Основные результаты проведенного исследования:

1. Предложены количественные критерии оценки живучести: коэффициент $K_{\text{жив}}$ и показатель экологического риска $R_{\text{эк}}$, адаптированные для мостовых сооружений на основе обобщения работ [7, 9, 10].

2. Предложен алгоритм проектирования мостовых сооружений с учетом требований живучести, включающий идентификацию уязвимых элементов и проверку сценариев локального отказа.

3. На основе анализа аварийности [6, 8] и теоретических работ [7, 9, 10] обоснованы зоны ответственности элементов мостовых сооружений и соответствующие им рекомендуемые значения коэффициента живучести $K_{\text{жив}}$.

Рассмотрены две концепции «идеального» мостового сооружения, объединяющие долговечность, ремонтпригодность и живучесть. Показано, что обеспечение сопоставимой долговечности ключевых элементов является важным условием как экологичности, так и безопасности.

Учет сценариев прогрессирующего разрушения на этапе проектирования, анализ рисков и моделирование поведения конструкций при запроектных воздействиях должны стать неотъемлемой частью методологии экологически рационального проектирования. Разработка численных методов реализации предложенных критериев и их верификация на конкретных типах мостовых конструкций является целью дальнейших исследований. Только такой комплексный подход позволит перейти к подлинно устойчивому развитию транспортной инфраструктуры.

Список источников

1. Venkateswaran Balaji. Sustainable practices in bridge construction // *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 24–28. DOI 10.29187/jscmt.2021.56.
2. A Review of Multi-Criteria decision-making methods applied to the sustainable bridge design / V. Penadés-Plà, T. García-Segura, J. V. Martí, V. Yepes // *Sustainability*. 2016. Vol. 8, no. 1295. P. 129–134 DOI 10.3390/su8121295.
3. Gaziulusoy A. I. A critical review of approaches available for design and innovation teams through the perspective of sustainability science and system innovation theories // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 107. P. 366–377. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.01.012.
4. Овчинников И. Г., Овчинников И. И. Экологически рациональное проектирование мостовых сооружений как один из факторов устойчивого развития региона // *Каспий в цифровую эпоху: сборник материалов Национальной научно-практической конференции*. Астрахань: Астраханский университет, 2021. С. 587–592.
5. Мониторинг деформаций мостовых опор и проблемы экологически рационального проектирования мостовых сооружений / И. Г. Овчинников, И. И. Овчинников, А. К. Аншваев, И. Р. Гасанов // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2022. № 3. С. 60–69. DOI 10.15593/24111678/2022.03.07.
6. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 / И. Ю. Майстренко, И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, А. В. Кокодеев // *Транспортные сооружения*. 2017. Т. 4, № 4. URL: <https://t-s.today/PDF/13TS417.pdf> (дата обращения: 05.04.2026). DOI 10.15862/13TS417.
7. Тамразян А. Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов – необходимое условие безопасности зданий и сооружений // *Вестник ЦНИИСК имени В. А. Кучеренко*. 2009. № 1. С. 160–171.
8. Liu Y., Han B., Ma X. Advances in progressive collapse of bridge structures // *Pacific Science Review*. 2011. Vol. 13, no. 3. P. 173–181.
9. Перельмутер А. В. Прогессирующее обрушение и методология проектирования конструкций (совершенствование нормативных документов) // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2004. № 6. С. 38.
10. Перельмутер А. В. О расчетах на прогрессирующее обрушение // *Вестник МГСУ*. 2008. № 1. С. 119–129.
11. Бреслер М. М., Косяк В. Н. Современные подходы при выборе систем защиты транспортных сооружений от воздействий, вызванных перемещениями, и обеспечение их долговечности // *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2010. № 33. С. 49–54.
12. Тамразян А. Г. Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений // *Вестник МГСУ*. 2011. № 2-1. С. 77–83.
13. Тамразян А. Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений // *Железобетонные конструкции*. 2023. Т. 3, № 3. С. 62–74.

References

1. Balaji Venkateswaran. Sustainable practices in bridge construction. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*. 2021;6(1):24–28. (In Russ.). DOI 10.29187/jscmt.2021.56.
2. Penadés-Plà V., García-Segura T., Martí J. V., Yepes V. A Review of Multi-Criteria decision-making methods applied to the sustainable bridge design. *Sustainability*. 2016;8(1295):129–134. (In Russ.). DOI 10.3390/su8121295.
3. Gaziulusoy A. I. A critical review of approaches available for design and innovation teams through the perspective of sustainability science and system innovation theories. *Journal of Cleaner Production*. 2015;107:366–377. (In Russ.). DOI 10.1016/j.jclepro.2015.01.012.
4. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I. Environmentally rational design of bridge structures as one of the factors of sustainable development of the region. *The Caspian in the Digital Age: Collection of Materials of the National Scientific and Practical Conference*. Astrakhan: Astrakhan University; 2021. P. 587–592. (In Russ.).
5. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I., Anshvaev A. K., Gasanov I. R. Monitoring of deformations of bridge supports and problems of environmentally rational design of bridge structures. *Transport. Transport structures. Ecology*. 2022;(3):60–69. (In Russ.). DOI 10.15593/24111678/2022.03.07.
6. Maistrenko I. Yu., Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Kokodeev A. V. Accidents and destruction of bridge structures, analysis of their causes. Part 1. *Transport Structures*. 2017;4(4). (In Russ.). URL: <https://t-s.today/PDF/13TS417.pdf>. DOI 10.15862/13TS417.
7. Tamrazyan A. G. Risk and reliability assessment of load-bearing structures and key elements is a necessary condition for the safety of buildings and structures. *Bulletin of the Central Research Institute of Bridge Structures Named after V. A. Kucherenko* 2009;(1):160–171. (In Russ.).
8. Liu Y., Han B., Ma X. Advances in progressive collapse of bridge structures. *Pacific Science Review*. 2011;13(3):173–181. (In Russ.).
9. Perelmutter A. V. Progressive collapse and methodology of structural design (improvement of regulatory documents). *Earthquake Engineering. Safety of Structures*. 2004;(6):38. (In Russ.).
10. Perelmutter A. V. On Progressive collapse calculations. *Bulletin of MGSU*. 2008;(1):119–129. (In Russ.).
11. Bresler M. M., Kosyak V. N. Modern approaches to selecting systems for protecting transport structures from impacts caused by movements and ensuring their durability. *Science and Progress of Transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2010;(33):49–54. (In Russ.).
12. Tamrazyan A. G. Recommendations for developing requirements for the survivability of buildings and structures. *Vestnik MGSU*. 2011;(2-1):77–83. (In Russ.).
13. Tamrazyan A. G. Conceptual approaches to assessing the survivability of building structures, buildings and structures. *Reinforced Concrete Structures*. 2023;3(3):62–74. (In Russ.).

Информация об авторах

И. И. Овчинников – доктор технических наук, доцент, советник РААСН, академик РАТ, академик РИА, заведующий базовой кафедрой АО «Мостострой-11» Тюменского индустриального университета, профессор кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения» Уфимского государственного нефтяного технического университета, профессор кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина.

И. Г. Овчинников – доктор технических наук, профессор, академик РАТ, академик РИА, профессор базовой кафедры АО «Мостострой-11» Тюменского индустриального университета, профессор кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения» Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Information about the authors

I. I. Ovchinnikov – Doctor of Engineering, Associate Professor, Adviser to the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Academician of the Russian Academy of Transport, Academician of the Russian Academy of Engineering, Head of the Basic Department of Mostostroy-11, Tyumen Industrial University, Professor of the Highways, Bridges, and Transport Structures Department, Ufa State Petroleum Technological University, Professor of the Transport infrastructure construction Department, Yuri A. Gagarin Saratov State Technical University.

I. G. Ovchinnikov – Doctor of Engineering, Professor, Academician of the Russian Academy of Transport, Russian Academy of Architecture, Professor of the Basic Department of Mostostroy-11, Tyumen Industrial University, Professor of the Highways, Bridges, and Transport Structures Department, Ufa State Petroleum Technological University.

Статья поступила в редакцию 06.05.2026; одобрена после рецензирования 08.06.2026; принята к публикации 26.06.2026.

The article was submitted 06.05.2026; approved after reviewing 08.06.2026; accepted for publication 26.06.2026.