

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-7-41-48

Крутикова М.А., Дегтярь А.Н.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: marinkakrutikova@yandex.ru*

АНАЛИЗ ЖИВУЧЕСТИ СТЕРЖНЕВОЙ ФЕРМЫ ПРИ ЗАПРОЕКТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. Важным этапом при проектировании строительных конструкций в частности мостовых стержневых ферм является анализ живучести при запроектных воздействиях. Фермы, благодаря своим легким и прочным характеристикам, находят широкое применение в различных областях, включая промышленное строительство, сельское хозяйство и транспортную инфраструктуру. Проведен детальный анализ состояния металлических стержней мостовой фермы, в ходе которого были выявлены стержни, находящиеся в критическом состоянии при запроектных воздействиях. Также рассматриваются причины возникновения различных критических ситуаций, что позволяет лучше понять механизмы, способствующие возникновению потенциальных проблем. Кроме того, проведены расчеты живучести элементов конструкции при критических нагрузках для оценки вероятности разрушения отдельных элементов фермы или прогрессирующего разрушения всей конструкции.

Структурирование информации о возможных повреждениях и внедрение современных подходов к расчету и усилению конструкций являются важными шагами для предотвращения аварийных ситуаций в процессе эксплуатации сооружения. Это поможет не только избежать серьезных последствий, но и значительно продлить срок службы стержневой конструкции фермы.

Статья может служить основой для дальнейших исследований и разработки новых методов анализа живучести стержневых конструкций при запроектных воздействиях, что позволит повысить безопасность и надежность современных строительных объектов.

Ключевые слова: живучесть, критические нагрузки, прогрессирующие разрушение, запроектное воздействие, надежность конструкции.

Введение. В последние десятилетия конструкции из ферм сталкиваются с увеличением внешних воздействий, что приводит к их повреждениям. Основные причины ухудшения состояния ферм: рост транспортных потоков, климатические изменения, недостаточное техническое обслуживание и техногенные воздействия, не предусмотренные проектами. Многие существующие объекты были построены давно, когда требования к грузоподъемности и устойчивости были ниже. Это несоответствие между проектными условиями и реальными нагрузками ускоряет износ конструкций и повышает риск их повреждения. В условиях специальной военной операции такие воздействия на сооружения и конструкции, особенно в приграничной зоне, значительно возросли, что может привести к частичному или полному выходу из строя конструктивных систем [1, 2].

В современных условиях важно уделять внимание исследованиям, которые направлены на изучение живучести строительных конструкций. Живучесть – это способность конструкций сохранять функциональность и безопасность при различных внешних воздействиях [3]. Это включает как проектирование новых объектов с учетом рисков, так и оценку состояния существующих конструкций после влияния непредвиденных обстоятельств. Особенно это актуально в

контексте военных операций и техногенных катастроф, когда конструкции подвергаются экстремальным нагрузкам [4].

В связи с этим возникает необходимость в разработке новых методов проектирования и оценки живучести конструкций при запроектных воздействиях. Это включает использование современных программных комплексов для моделирования поведения конструкций под воздействием различных факторов, а также внедрение инновационных материалов, обладающих повышенной устойчивостью к внешним воздействиям и нового подхода к расчету и анализу конструкции [5].

Кроме того, задачи оптимизации параметров живучести внезапно поврежденных стержневых конструкций носят исследовательский характер и в научной литературе обсуждаются сравнительно недавно. Тем не менее, их решение открывает новые возможности прогнозирования деформаций и разрушения эксплуатируемых конструкций зданий и сооружений при запроектных воздействиях, а также возможность минимизации ущерба в случаях аварии.

Существующая нормативная база и методы расчета как в отечественной, так и в зарубежной практике основываются на положениях метода предельных состояний. Эти методы позволяют оценивать напряженно-деформированное состояние конструкций на этапах, предшествующих наступлению предельных состояний. Однако они

не дают возможности анализировать процесс деформирования и разрушения конструкций в предельных состояниях.

В данной работе рассматривается мостовая стержневая ферма длиной 66 м, которая подвергается сверхнагрузке. Целью исследования является анализ критического состояния отдельных элементов мостовой стержневой фермы в условиях нагрузок, не предусмотренных проектом и оптимизация параметров живучести конструкции. Основное внимание уделяется расчетам оптимизации параметров живучести для предотвращения разрушения как отдельных элементов, так и всей конструкции в целом.

Методика расчета. В рамках анализа стержневой фермы предлагается методика и алгоритм оптимизации характеристик живучести стержневых элементов конструкции, основанные на прямом методе вероятностного анализа [6]. Этот подход позволяет учитывать вариативность свойств материалов, параметры сечений, нагрузки и другие факторы, которые могут повлиять на несущую способность всей конструкции.

При анализе критического состояния отдельных элементов или всей системы в целом, состоящей из последовательно соединенных элементов, важно учитывать заданные ограничения, такие как расход материала и допустимые уровни напряжений. Оптимизация параметров живучести дает возможность повысить общую живучесть системы за счет рационального перераспределения материала между отдельными конструктивными элементами без изменения общей массы конструкции [7].

Применение данного метода позволяет выявить наиболее уязвимые участки конструкции и предложить меры по их укреплению. Это не только способствует повышению безопасности эксплуатации существующих мостов, но и улучшает проектирование новых объектов, обеспечивая их долговечность и устойчивость к внешним запроектным воздействиям. Учитывая разнообразие факторов, влияющих на живучесть конструкций, важно разрабатывать адаптивные методы, которые смогут реагировать на изменения условий эксплуатации и характеристики материалов. Оптимизация надежности стержневых элементов становится ключевым этапом в обеспечении безопасности и эффективности как гражданских, так и промышленных конструкций.

Для решения поставленной задачи введем следующие обозначения: V_{si} – вероятность неразрушения i -го элемента ($i = \overline{1, n}$) найденная при предварительном расчете; q_{0i} – отношение максимальной продольной силы в конструктивном элементе.

Для рассматриваемой конструктивной системы вероятность неразрушения всей системы V_0 может быть определена из выражения:

$$V_0 = \prod_{i=1}^n V_{si}. \quad (1)$$

Суммарное значение отношений максимальной продольной силы в конструктивном элементе составит:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n q_{0i}. \quad (2)$$

Решение поставленной оптимизационной задачи предполагает перераспределение величин q_{0i} между элементами, обеспечивающее при выполнении условия (2) достижения значением V_0 максимально возможного значения V :

$$V = \prod_{i=1}^n V_i, \quad (3)$$

где значениям V_i соответствуют величины q_i .

Вероятность неразрушения i -го элемента для рассматриваемой системы согласно [8] может быть рассчитана по следующим зависимостям:

$$V_{si} = 1 - p_{fi}, \quad (4)$$

где p_{fi} – вероятность отказа i -го элемента;

$$p_{fi} = 0,5 - \Phi(U), \quad (5)$$

где $\Phi(U)$ – интеграл вероятности Гаусса.

Интеграл вероятности Гаусса имеет вид:

$$\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-\frac{N^2}{2}} dN, \quad (6)$$

Зависимость вероятности неразрушения i -го пролета V_i от q_i для систем из n последовательно соединенных элементов согласно [3] может быть представлена в форме:

$$V_i = 1 - a_i^{-\left(\frac{q_i}{q_{0i}}\right)}, \quad (7)$$

где a_i определяется из условия совпадения V_i с V_{0i} при $q_i = q_{0i}$, т.е.

$$a_i = (1 - V_{si})^{-1}. \quad (8)$$

Выражение для оптимальных значений q_i :

$$q_i = \frac{1}{a_i} \ln \left(1 + \frac{a_i}{B} \right), \quad (9)$$

$$a_i = \frac{\ln a_i}{q_{0i}}. \quad (10)$$

Учитывая, что при значениях $V_i = 0,95 \div 0,99$ отношение $\frac{a_i}{B}$ составляет соответственно 19 и 99, т.е. значительно больше 1, и принимая во внимание свойства логарифма величину B можно с достаточной степенью точности записать в форме [9]:

$$B = \exp \frac{\ln [\prod_{i=1}^n (a_i)^{\beta_i}] - Q_0}{\sum_{i=1}^n \beta_i}. \quad (11)$$

где β_i величина обратная a_i .

Основная часть. Был выполнен расчет живучести мостовой фермы, показанной на рис. 1,

сечением стержней 140×120×5 мм. К нижним узлам фермы была приложена определенная нагрузка, учитывающая собственный вес конструкции. Определены усилия в стержнях фермы,

начиная от малонагруженного состояния и заканчивая критическим состоянием стержней [10].

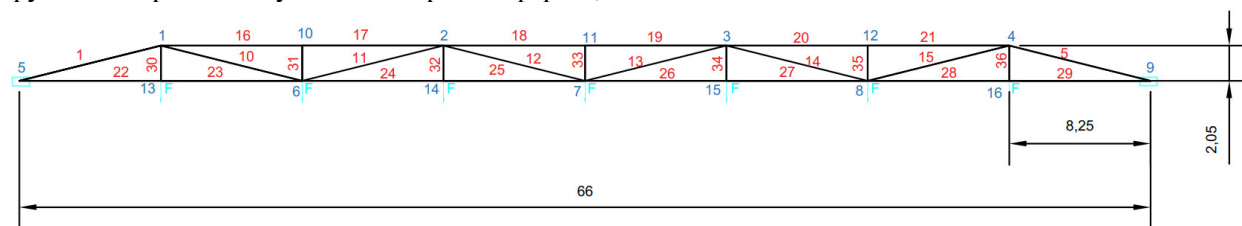


Рис. 1. Схема мостовой стержневой фермы

В результате проведенного расчета и анализа усилий в стержнях мостовой фермы выполнен комплексный обзор ее живучести. В ходе этого процесса были выявлены элементы, находящиеся

в критическом состоянии, и их характеристики представлены в табл. 1, а показатели живучести элементов данной фермы в табл. 2.

Таблица 1

Анализ стержней фермы, находящиеся в критическом состоянии

Максимальные значения усилий		Минимальные значения усилий	
Номер элемента (стержня) фермы	Значение	Номер элемента (стержня) фермы	Значение
Нагрузка от собственного веса конструкции			
№25	16,17 кН	№18	- 17,239 кН
№26	16,17 кН	№19	- 17,239 кН
Нагрузка от собственного веса конструкции и тяжеловесного грузового поезда (9000 т)			
№25	270681,013 кН	№18	- 288393,786 кН
№26	270681,013 кН	№19	- 288393,786 кН
Нагрузка от собственного веса конструкции, пассажирского поезда (1155 т) и грузового поезда (4939 т)			
№25	183302,511 кН	№18	- 195297,442 кН
№26	183302,511 кН	№19	- 195297,442 кН

Таблица 2

Расчетные значения живучести фермы

Характеристики	Элемент №18 (стержень) фермы	Элемент №19 (стержень) фермы	Элемент №25 (стержень) фермы	Элемент №26 (стержень) фермы
Вероятность отказа (P_{fi})	0,053407	0,053407	0,049688	0,049688
Живучесть элемента (P_{si})	0,946593	0,946593	0,950312	0,950312
Живучесть всей системы (P_s)	0,809205			

Анализ и результаты оценки живучести фермы указывают на то, что некоторые стержни испытывают критические нагрузки, что может привести к их потенциальному разрушению при дальнейшем увеличении нагрузок или при воздействии непредусмотренных факторов. Рекомендуется рассмотреть возможность усиления критических элементов или применения дополнительных методов защиты для предотвращения их деградации при внезапных внешних воздействиях.

Предположим, что произошел инцидент из-за неожиданного внешнего воздействия на мостовую стержневую ферму, в результате которого она получила следующие повреждения [11]:

- нарушение геометрии нижнего пояса фермы в панелях 5-6 (Н 5-13, Н 13-6);
- полное разрушение левого узла №13;

– повреждение верхней части (до половины сечения) поперечной балки в узле № 13 в месте объединения продольной и поперечной балок;

– левая подвеска имеет сквозные повреждения горизонтальных листов. Вертикальный лист деформирован в уровне верха перильного ограждения;

– правая подвеска имеет сквозные повреждения вертикального и горизонтальных листов на отметке 10 м от низа конструкции [12].

С учетом обновленных данных проведен повторный анализ и расчет усилий в стержнях фермы, а также оценка живучести конструкции при разрушении узла №13 с левой стороны с использованием прямого метода вероятностного анализа. На рис. 2 представлена цветовая эпюра

усилий в стержнях мостовой фермы после разрушения вышеуказанного узла. Критические значения усилий, возникающие в стержнях фермы

приведены в табл. 3, а результаты живучести конструктивной системы в табл. 4.



Рис. 2. Цветовая эпюра усилий стержней мостовой фермы после разрушения узла №13

Таблица 3

Анализ стержней фермы, находящиеся в критическом состоянии

Максимальные значения усилий		Минимальные значения усилий	
Номер элемента (стержня) фермы	Значение	Номер элемента (стержня) фермы	Значение
Нагрузка от собственного веса конструкции			
№26	18,14 кН	№18	- 19,345 кН
№27	18,05 кН	№19	- 19,89 кН
Нагрузка от собственного веса конструкции и тяжеловесного грузового поезда (9000 т)			
№26	557008,297 кН	№18	- 586300,177 кН
№27	555816,762 кН	№19	- 585960,566 кН
Нагрузка от собственного веса конструкции, пассажирского поезда (1155 т) и грузового поезда (4939 т)			
№26	203119,312 кН	№18	- 213801,075 кН
№27	202684,816 кН	№19	- 213677,211 кН

Таблица 4

Расчетные значения живучести фермы

Характеристики	Элемент №18 (стержень) фермы	Элемент №19 (стержень) фермы	Элемент №26 (стержень) фермы	Элемент №27 (стержень) фермы
Вероятность отказа (P_{fi})	0,861684	0,86167	0,861484	0,86145
Живучесть элемента (P_{si})	0,138316	0,138330	0,138516	0,138550
Живучесть всей системы (P_s)	0,000367			

Из полученных результатов следует, что возможно лавинообразное разрушение всей конструкции в целом. Это указывает на то, что текущая эксплуатация данной мостовой фермы невозможна, и необходимо заменить поврежденные элементы до проведения капитального ремонта всей структуры [13, 14].

Анализируя вышеуказанные данные, перераспределим материалы между стержнями фермы без изменения общей массы конструкции

для повышения ее живучести и предотвращения предполагаемого лавинообразного разрушения. Для этого увеличим сечения верхнего и нижнего пояса фермы, одновременно уменьшив сечения стоек и раскосов до 80×40×5 мм [15, 16]. С учетом перераспределения материалов и разрушения левого узла №13 был выполнен расчет нагрузок в стержнях фермы и проведена оценка живучести при запроектных воздействиях. Полученные результаты представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Анализ стержней фермы, находящиеся в критическом состоянии

Максимальные значения усилий		Минимальные значения усилий	
Номер элемента (стержня) фермы	Значение	Номер элемента (стержня) фермы	Значение
Нагрузка от собственного веса конструкции			
№26	20,36 кН	№18	- 21,78 кН
№27	20,54 кН	№19	- 21,43 кН
Нагрузка от собственного веса конструкции и тяжеловесного грузового поезда (9000 т)			
№26	298812,699 кН	№18	- 316050,711 кН
№27	298555,498 кН	№19	- 315778,844 кН
Нагрузка от собственного веса конструкции, пассажирского поезда (1155 т) и грузового поезда (4939 т)			
№26	202359,558 кН	№18	- 214033,393 кН
№27	202185,368 кН	№19	- 213849,287 кН

Получив данный результат, можно утверждать, что живучесть всей конструкции системы возросла и составила 0,94 (94 %). Это свидетельствует о значительном улучшении надежности и долговечности системы. В результате проведенной оптимизации, благодаря перераспределению материала между элементами, удалось предотвратить лавинообразное разрушение, что также является важным для обеспечения дальнейшей эксплуатации.

Такой уровень живучести указывает на то, что конструкция способна эффективно выдерживать эксплуатационные нагрузки и минимизировать риск возникновения аварийных ситуаций.

Достиженные показатели также подчеркивают успешность проведенных мероприятий по оптимизации параметров живучести многопролетных стержневых конструкций при запроектных воздействиях [19].

В дальнейшем для поддержания и даже повышения этого уровня живучести необходимо внедрять регулярные проверки и мониторинг состояния конструкции, а также проводить плановые профилактические работы. Это позволит не только продлить срок службы системы, но и обеспечить безопасную эксплуатацию, что является приоритетной задачей при функционировании подобных объектов [20].

Таблица 6

Расчетные значения живучести фермы

Характеристики	Элемент №18 (стержень) фермы	Элемент №19 (стержень) фермы	Элемент №26 (стержень) фермы	Элемент №27 (стержень) фермы
Вероятность отказа (P_{fi})	0,01711	0,016996	0,011771	0,011699
Живучесть элемента (P_{si})	0,982890	0,983004	0,988229	0,988301
Живучесть всей системы (P_s)	0,943641			

Выводы. Исследование показывает важность развития направления по оптимизации параметров живучести, можно применить к балочным и стержневым конструкциям. Это направление имеет не только теоретическое значение, но и важную практическую направленность – предотвращение прогрессирующих разрушений конструктивных систем при выходе из строя отдельных элементов или частей системы.

Перераспределение материала между элементами без изменения общего объема способствует увеличению живучести конструкции без дополнительного ассигнования. Это позволяет более эффективно использовать имеющиеся ресурсы, оптимизируя распределение нагрузки и повышая устойчивость к внешним воздействиям. Такой подход также может снизить риск возникновения усталостных повреждений и увеличить срок службы конструкции. Важно отметить, что грамотное перераспределение материала требует глубокого анализа и расчетов, чтобы избежать возможных негативных последствий и обеспечить живучесть всей системы в целом. Это позволяет улучшить ее эксплуатационные характеристики, увеличить срок службы и снизить риски, связанные с запроектными воздействиями. Правильный подход к этому процессу требует тщательного анализа и проектирования, но в конечном итоге может привести к значительно более надежной и устойчивой конструкции.

Проведенное исследование подчеркивает важность учета запроектных воздействий, при

проектировании подобных конструкций и мониторинге стержневых систем для обеспечения их живучести и безопасности.

В условиях современных вызовов, таких как военные конфликты, климатические изменения, природные катастрофы и экономическая нестабильность, важно не только разрабатывать новые конструкции, но и обеспечивать живучесть и безопасность существующих объектов. Внешние факторы, такие как увеличение частоты экстремальных погодных явлений, сейсмическая активность, а также угрозы, связанные с терроризмом, требуют особого внимания к устойчивости инфраструктуры. Это позволит минимизировать риски и последствия возможных аварий в будущем, а также продлить срок службы промышленных и гражданских объектов.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. № 4. С. 11.
2. Дормидонтова Т.В., Варданян Т.М. Оценка технического состояния мостовых сооружений // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Самара, 2018. С. 199–203.

3. Симаков О.А. Анализ факторов, вызывающих необходимость усиления железобетонных конструкций // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 1 (81). С. 76–84.
4. Degtyar A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V., Alimatov B.A. Direction development of the theory of survivability of building structures under sudden project impacts // *Scientific-technical journal (STJ FerPI)*. 2021. V. 5. № 2. Pp. 21–27.
5. Ефремян Д.А., Сидоренко А.Ю. Живучесть строительных конструкций // *Молодой ученый*. 2017. № 19 (153). С. 49–51.
6. Серых И. Р., Чернышева Е. В., Дегтярь А. Н. Определение технического состояния железнодорожного моста // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 4. С. 32–39.
7. Соколова О.Я., Овчинников И.И., Маринин А.Н. Моделирование прогрессирующего разрушения железнодорожного мостового сооружения // *Вестник евразийской науки*. 2024. Т. 16. № 3. С. 75.
8. Быкова Н.М., Баранов Т.М., Забияка А.А. Повышение «живучести» железнодорожного моста с повреждением элемента фермы // *Транспортные сооружения*. 2024. Т. 11. № 1.
9. Герасимов О.Н., Овчинников И.Г. Состояние проблемы прогрессирующего разрушения мостов, возможные задачи и подходы к их решению // *Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сборник трудов Международной научно-практической конференции, в 2 ч., Волгоград, 07–08 декабря 2021 года. Часть 1*. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), 2021. С. 42–50.
10. Быкова Н.М., Баранов Т.М., Забияка А.А. Оценка работы пролетного строения железнодорожного моста с повреждением элемента фермы // *Транспортные сооружения*. 2023. Т. 10. № 4.
11. Доронин С.В., Филиппова Ю.Ф. Цифровые модели живучести для поддержки жизненного цикла стержневых конструкций // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2021. № 2(22). С. 21–31. DOI: 10.38028/ESI.2021.22.2.002.
12. Крутикова М.А. Концепция живучести строительных конструкций при запроектных воздействиях // *Всероссийский форум молодых исследователей*. 2024: сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Петрозаводск, 25 декабря 2024 года. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2024. С. 90–96.
13. Бабаян А.В., Паниева С.Л. Понятие живучести строительных конструкций в строительном производстве // *Ресурсосбережение и экология: агропромышленный комплекс, проектирование и строительство: сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 21 ноября 2024 года*. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. С. 76–78.
14. Тамразян А.Г. Живучесть как степень работоспособности конструкций при повреждении // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 7. С. 22–28. DOI: 10.33622/0869-3019.2023.07.22-28.
15. Тамразян А.Г. Методология теоретических основ живучести строительных систем // *Железобетонные конструкции*. 2025. Т. 9, № 1. С. 3–17. DOI: 10.22227/2949-1622.2025.1.3-17.
16. Гениев Г.А. О применении прямых методов математического анализа в задачах оптимизации характеристик надежности комбинированных строительных конструкций // *Извещения вузов: Строительство*. 2000. № 1. С. 16–21.
17. Гениев Г.А. О принципе эквиградиентности и применении его к оптимизационным задачам устойчивости стержневых систем // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1979. № 6. С. 8–13.
18. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1996. 192 с.
19. Дегтярь А.Н. Вопросы оптимизации живучести стержневых железобетонных конструкций при внезапных запроектных воздействиях // *Сборник научных трудов SWorld*. 2013. Т. 15, № 4. С. 9–12.
20. Ржаницин А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.

Информация об авторах

Дегтярь Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: andrey-dandr@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крутикова Марина Алексеевна, аспирант. E-mail: marinkakrutikova@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 17.02.2026 г.

© Дегтярь А.Н., Крутикова М.А., 2026

*Krutikova M.A., Degtyar A.N.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: marinkakrutikova@yandex.ru

ANALYSIS OF THE LIVELIHOOD OF A CORE TRUSS UNDER DESIGNED IMPACTS

Abstract. The bridge rod truss is loaded with an out-of-design impact, which is an important stage in the design of building structures. Farms, due to their lightweight and durable characteristics, are widely used in various fields, including industrial construction, agriculture, and transportation infrastructure. A detailed analysis of the condition of the metal rods of the bridge truss was carried out, during which the rods that are in critical condition under out-of-design impacts were identified. The causes of such critical situations are also considered, which allows for a better understanding of the mechanisms contributing to potential problems. In addition, calculations of the survivability of structural elements under critical loads were carried out to assess the likelihood of progressive destruction of individual parts of the farm or the entire structure as a whole.

Structuring information about possible damages and the introduction of modern approaches to the calculation and reinforcement of structures are important steps to prevent accidents during the operation of rods. This will not only help to avoid serious consequences, but also significantly extend the service life of the bridge rod truss.

The article can serve as a basis for further research and development of new methods for analyzing the survivability of core structures under out-of-design impacts, which will improve the safety and reliability of modern construction facilities.

Keywords: survivability, critical loads, progressive destruction, out-of-design impact, structural reliability.

REFERENCES

1. Maiorenko I.Yu., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I. G., Kokodeev A. V. Accidents and Failures of Bridge Structures: Analysis of Their Causes. [Avarii i razrusheniya mostov'x sooruzhenij, analiz ix prichin]. Part 1 Transport Structures. 2017. Vol. 4, No. 4. P. 11. (rus)
2. Dormidontova T.V., Vardanyan T.M. Assessment of the Technical Condition of Bridge Structures. [Ocenka texnicheskogo sostoyaniya mostov'x sooruzhenij]. Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Construction. Samara, 2018. P. 199–203. (rus)
3. Simakov O. A. Analysis of Factors Necessitating the Reinforcement of Reinforced Concrete Structures. [Analiz faktorov, vy'zyvayushhix neobxodimost' usileniya zhelezobetonny'x konstrukcij]. Construction and Reconstruction. 2019. No. 1 (81). P. 76–84. (rus)
4. Degtyar A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V., Alimatov B.A. Direction Development of the Theory of Survivability of Building Structures under Sudden Project Impacts. Scientific-Technical Journal (STJ FerPI). 2021. Vol. 5, No. 2. P. 21–27.
5. Efremyan D.A., Sidenko A.Yu. Survivability of Building Structures. [Zhivuchest' stroitel'ny'x konstrukcij]. Young Scientist. 2017. No. 19 (153). Pp. 49–51. (rus)
6. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N. Determination of the Technical Condition of a Railway Bridge. [Opredelenie texnicheskogo sostoyaniya zheleznodorozhnogo mosta]. Bulletin of Volgograd State Technical University (VolGTU). 2020. No. 4. Pp. 32–39. (rus)
7. Sokolova O.Ya., Ovchinnikov I.I., Marinin A.N. Modeling of Progressive Destruction of a Railway Bridge Structure. [Modelirovanie progressivnyushhego razrusheniya zheleznodorozhnogo mostovogo sooruzheniya]. Bulletin of Eurasian Science. 2024. Vol. 16, No. 3. P. 75. (rus)
8. Bykova N.M., Baranov T.M., Zabiya A.A. Increasing the "Survivability" of a Railway Bridge with Damage to a Truss Element. [Povy'shenie «zhivuchesti» zheleznodorozhnogo mosta s povrezhdeniem e'lementa fermy']. Transport Structures. 2024. Vol. 11, No. 1. (rus)
9. Gerasimov O.N., Ovchinnikov I.G. The State of the Problem of Progressive Destruction of Bridges: Possible Tasks and Approaches to Their Solution. [Sostoyanie problemy' progressivnyushhego razrusheniya mostov, vozmozhny'e zadachi i podxody k ix resheniyu]. Current Issues and Prospects for the Development of the Construction Complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, December 7–8, 2021, Part 1. Volgograd: Volgograd State Technical University (VolGTU), 2021. Pp. 42–50. (rus)
10. Bykova N.M., Baranov T.M., Zabiya A.A. Assessment of the Performance of the Span Structure of a Railway Bridge with Damage to a Truss Element. [Ocenka raboty' proletnogo stroeniya zheleznodorozhnogo mosta s povrezhdeniem e'lementa fermy']. Transport Structures. 2023. Vol. 10, No. 4. (rus)
11. Doronin S.V., Filippova Yu.F. Digital Models of Survivability for Supporting the Lifecycle of

Rod Structures. [Cifrovyye modeli zhivuchesti dlya podderzhki zhivennogo tsikla sterzhnevyykh konstruktsiy]. Information and Mathematical Technologies in Science and Management. 2021. No. 2(22). Pp. 21–31. DOI: 10.38028/ESI.2021.22.2.002. (rus)

12. Krutikova M.A. The Concept of Survivability of Construction Structures under Design Impacts. [Konceptiya zhivuchesti stroitel'nykh konstruktsiy pri zaproektnykh vozdeystviyakh]. All-Russian Forum of Young Researchers: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, December 25, 2024. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science" (I.P. Ivanovskaya I.I.), 2024. Pp. 90–96. (rus)

13. Babayan A.V., Paniyeva S.L. The Concept of Survivability of Construction Structures in Construction Production. [Ponyatie zhivuchesti stroitel'nykh konstruktsiy v stroitel'nom proizvodstve]. Resource Saving and Ecology: Agricultural Complex, Design and Construction: Collection of Scientific Articles from the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference for Young Scientists, Postgraduates, Masters, and Bachelors, Kursk, November 21, 2024. Kursk: ZAO "University Book," 2024. Pp. 76–78. (rus)

14. Tamrazyan A.G. Survivability as a Degree of Functionality of Structures under Damage. [Zhivuchest' kak stepen' rabotosposobnosti konstruktsiy pri povrezhdenii]. Industrial and Civil Engineering. 2023. No. 7. Pp. 22–28. DOI: 10.33622/0869-3019.2023.07.22-28. (rus)

15. Tamrazyan A.G. Methodology of Theoretical Foundations of Survivability of Construction Systems. [Metodologiya teoreticheskikh osnov

zhivuchesti stroitel'nykh sistem]. Reinforced Concrete Structures. 2025. Vol. 9, No. 1. Pp. 3–17. DOI: 10.22227/2949-1622.2025.1.3-17. (rus)

16. Geniyev G.A. On the Application of Direct Methods of Mathematical Analysis in Tasks of Optimizing the Reliability Characteristics of Combined Construction Structures. [O primeneni priamykh metodov matematicheskogo analiza v zadachakh optimizatsii kharakteristik nadezhnosti kombinirovannykh stroitel'nykh konstruktsiy]. Notices of Higher Educational Institutions: Construction. 2000. No. 1. Pp. 16–21. (rus)

17. Geniyev G.A. On the Principle of Equigradience and Its Application to Optimization Problems in the Stability of Rod Systems. [O principe ekvigradientnosti i primeneni ego k optimizatsionnykh zadacham ustojchivosti sterzhnevyykh sistem]. Building Mechanics and Structural Calculation. 1979. No. 6. Pp. 8–13. (rus)

18. Raizer V.D. Methods of Reliability Theory in Tasks for Normalizing Calculated Parameters of Construction Structures. [Metody teorii nadezhnosti v zadachakh normirovaniya raschetnykh parametrov stroitel'nykh konstruktsiy]. Moscow: Stroyizdat, 1996. 192 p. (rus)

19. Degtyar A.N. Issues of Optimizing the Survivability of Reinforced Concrete Rod Structures under Sudden Design Impacts. [Voprosy optimizatsii zhivuchesti sterzhnevyykh zhelezobetonnykh konstruktsiy pri vnezapnykh zaproektnykh vozdeystviyakh]. Collection of Scientific Works SWorld. 2013. Vol. 15, No. 4. Pp. 9–12. (rus)

20. Rzhanitsin A.R. Theory of Calculating Construction Structures for Reliability. [Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktsiy na nadezhnost']. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (rus)

Information about the author

Degtyar, Andrey N. PhD. E-mail: andrey-dandr@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Krutikova, Marina A. Graduate student. E-mail: marinkakrutikova@yandex.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 17.02.2026

Для цитирования:

Крутикова М.А., Дегтярь А.Н. Анализ живучести стержневой фермы при запроектных воздействиях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 7. С. 41–48. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-7-41-48

For citation:

Krutikova M.A., Degtyar A.N. Analysis of the livelihood of a core truss under designed impacts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 7. Pp. 41–48. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-7-41-48