

Научная статья

DOI 10.15593/24111678/2022.03.08

УДК 624.014.078.4

О.Н. Попов, И.В. Мартынюк, М.О. Ящук, Н.В. Хамидуллина

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону, Россия

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА**

Осуществлен анализ сравнения методов расчета грузоподъемности металлических пролетных строений. В качестве расчетной модели использовались металлические пролетные строения, запроектированные пролетные строения под нагрузки по нормам проектирования 1925 г. Установленные пролетные строения разрезной системы с длиной каждого из них, равной 55,0 м. Пролетные строения выполнены в виде сквозных ферм с треугольной решеткой с полигональным верхним поясом с дополнительными стойками и подвесками с ездой понизу. По результатам проведенного обследования (проверки технического состояния и текущего содержания моста) был выявлен ряд дефектов и неисправностей. Данные дефекты и неисправности были учтены при расчетах. Расчёты на примере одного пролетного строения показали, что, несмотря на близость результатов, некоторые элементы оценены расчетным способом со значительной переоценкой. Устранение значительных погрешностей при определении классов грузоподъемности на основе расчетов трехмерных моделей позволит значительно уточнить вероятности и риски внезапных отказов основных элементов мостовых конструкций. Таким образом, проведенный анализ выявил, что значимость точной оценки грузоподъемности связана с точностью оценки вероятности отказа и, следовательно, с безопасностью движения поездов. Также установлено, что наибольший риск в эксплуатации моста связан с уменьшением ресурса таких элементов, как продольные и поперечные балки мостового полотна, в то время как прочие основные элементы ферм обладают достаточным запасом грузоподъемности.

Ключевые слова: разрушение образцов, железнодорожный мост, сварной пролет, усталостная трещина, метод конечных элементов, остаточные напряжения.

O.N. Popov, I.V. Martynyuk, N.V. Khamidullina, M.O. Yashchuk

Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, Russian Federation

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING THE CARRYING
CAPACITY OF THE METAL SUPERSTRUCTURE OF THE BRIDGE**

Goals. Conducting an analysis of the comparison of methods for calculating the load capacity of metal spans. Research methods. As a calculation model, metal superstructures were used, designed superstructures for loads, according to the design standards of the year 1925. Installed span structures of a split system, each 55.0 m long. The superstructures are made in the form of end-to-end trusses with a triangular lattice with a polygonal upper chord with additional posts and pendants with a lower ride. According to the results of the survey (checking the technical condition and current maintenance of the bridge), a number of defects and malfunctions were identified. These defects and malfunctions were taken into account in the calculations. Research results. Analysis of the comparison of the assessment of the load capacity of metal superstructures of bridges in accordance with regulatory documents and using modern software. Calculations on the example of one span structure showed that, despite the closeness of the results, some elements were estimated by the calculation method with a significant overestimation. Elimination of significant errors in determining load-carrying capacity classes based on calculations of three-dimensional models will significantly refine the probabilities and risks of sudden failures of the main elements of bridge structures. Conclusions. The analysis performed revealed that the significance of an accurate assessment of the carrying capacity is related to the accuracy of the assessment of the probability of failure and, consequently, to the safety of train traffic. It was also found that the greatest risk in the operation of the bridge is associated with a decrease in the resource of such elements as the longitudinal and transverse beams of the bridge deck, while other main elements of the trusses have sufficient load capacity.

Keywords: destruction of samples, railway bridge, welded span, fatigue crack, finite element method, residual stresses.

Введение

Настоящий период характеризуется движением в направлении автоматизации и цифровизации параметров сооружений инфраструктуры, определяющих безопасность их эксплуатации. Значительное продвижение достигнуто при оценке предотказных состояний верхнего строения пути, риска эксплуатации на том или ином участке, разработке алгоритмов такой оценки [1–7]. Для интервальных оценок используется техническое средство – «матрица риска», которое также потребовало определённого развития. Что же касается оценки рисков эксплуатации мостов, здесь успехи заметно скромнее.

Связано это с очень большим количеством факторов, в первую очередь, со значительной сложностью и дороговизной средних и длинных пролетных строений (от 25 м). Стоимость пролетных строений, как правило, на полтора порядка выше стоимости пути такой же длины. В связи с этим оценка возможности эксплуатации, рекомендации к ремонту, замене пролётного строения производится группой экспертов, специализирующихся в данной тематике, а вопрос о автоматизации решений перемещается на весьма далекое будущее.

Методы исследования

Эксплуатируемый железнодорожный мост через реку Псезуапсе начали строить в 1916 г. Пролетные строения были изготовлены и смонтированы в 1927 г. Запроектированы пролетные строения по нормам проектирования 1925 г. Установленные пролетные строения разрезной системы с длиной каждого из них, равной 55,0 м. Пролетные строения выполнены в виде сквозных ферм с треугольной решеткой с полигональным верхним поясом с дополнительными стойками и подвесками с ездой понизу. Конструкция фермы состоит из 10 панелей, длина панели 5,5 м. Мостовое полотно – на безбалластных железобетонных плитах, с двумя тротуарами при настиле из железобетонных плит (рис. 1).

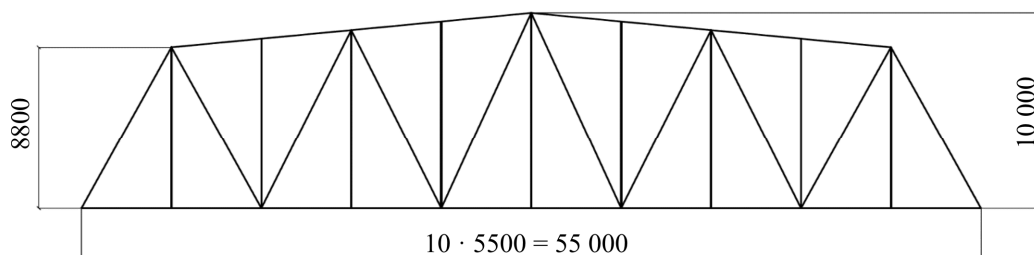


Рис. 1. Схема пролетного строения длиной 55,0 м

Также стоит отметить, что в ходе проведенного обследования был произведен сбор натурных данных для последующей классификации металлического пролетного строения с учетом выявленных дефектов. В ходе обследования фиксировались дефекты, образовавшиеся во всех конструктивных элементах моста. Далее каждому дефекту присваивалась определённая категория. Большинство из них оказалось относящимися к самой высокой, 3-й категории.

По результатам проведенного обследования (проверки технического состояния и текущего содержания моста) выявлен ряд дефектов и неисправностей, в том числе показанных на рис. 2. Ниже приведено пояснение дефектов и неисправностей:

- коррозия в рыбке ($t = 50 \%$), коррозионное распухивание в узле (рис. 2, а);
- уменьшение толщины металла рыбки под воздействием коррозии (рис. 2, б);
- коррозионное разрушение фасонки верхних продольных связей между продольными балками проезжей части (рис. 2, в);
- коррозионное разрушение фасонки между продольными балками проезжей части с образованием трещины в фасонке (рис. 2, г);
- отрыв диагонали связей (рис. 2, д);
- коррозия между фасонками опорного узла (рис. 2, е).

*а**б**в**г**д**е*

Рис. 2. Основные дефекты пролетного строения, влияющие на снижение грузоподъемности:
а – коррозия в узле; *б* – коррозия в рыбке; *в* – коррозия фасонки верхних продольных связей;
г – трещина в фасонке; *д* – отрыв диагонали связи; *е* – коррозия между фасонками

Вышеприведенные дефекты и неисправности существенно влияют на снижение величины грузоподъемности металлических пролетных строений, данная проблема является обоснованием для сравнительного анализа методик расчета грузоподъемности. В расчетах по грузоподъемности учитывались перечисленные дефекты.

Одним из средств оценки компонентов риска дальнейшей эксплуатации мостов является оценка вероятности отказа моста при обращающихся нагрузках. Стоит отметить, что в железобе-

тонных мостах на железной дороге для снижения рисков применяется современная технология усиления конструкция с использованием полимерных композиционных материалов [1; 5; 8; 9]. Естественно, что оценка вероятности тем точнее, чем точнее рассчитаны параметры предельных состояний и классов, что показывает необходимость применения методов расчета, основанных на современном программном обеспечении. Ниже приводятся данные для расчета и производится сравнение результатов расчета грузоподъемности с помощью руководства (на основе плоских моделей) и комплекса программ на его основе и с помощью конечно-элементной пространственной модели. Теоретическая основа математического моделирования расчетов исследования приведена в [10–15].

Расчет грузоподъемности металлических пролетных строений моста (через реку Псезуапсе) выполнен с помощью современного программного обеспечения. Пространственная схема пролетного строения вместе со схемой нагружения представлена на рис. 3: вертикальные стрелки – сосредоточенные силы в точках контакта колес рельсами (нагрузка локомотива), зеленым выделена распределенная нагрузка (от вагонов). Нагружение модели производилось типовой нагрузкой по схеме Н1, тс/м.

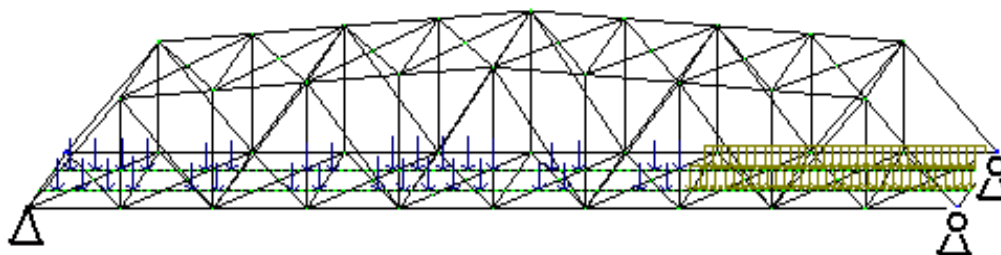


Рис. 3. Схема наихудшего приложения нагрузки при расчете класса грузоподъемности элемента Н1-2 и Р01

Для расчетной модели использовались в том числе нижеприведённые данные. Конструкция проезжей части: разрывы в продольных балках и тормозные связи отсутствуют. Материал – литое железо выплавки после 1906 г. Вес мостового полотна – 1,9 т/м. Район расположения моста – 3, основное расчетное сопротивление материала – 190,0 МПа. Заданная модель материала является линейно-упругой. На рис. 1 приведена схема расчетной модели. В табл. 1 – схемы основных элементов пролётного строения.

Модель пролетного строения формировалась в специализированном ПК «ЛИРА». Помимо главных ферм, соединенных распорками и продольными связями, пространственная стержневая модель включает продольные и поперечные балки мостового полотна. Учтены диагональные продольные связи нижнего пояса, а также диагональные продольные связи верхнего пояса. Продольные связи балок мостового полотна, порталные связи не учитывались. В опорных узлах моделировались шарнирно-неподвижные и опорно-подвижные части. Параметры сечений основных элементов моста взяты в соответствии с данными обследования.

Определялось наибольшее эквивалентное напряжение для каждого основного элемента, далее согласно формулам (1)–(2), рассчитывался класс элемента:

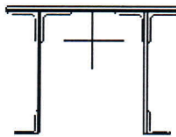
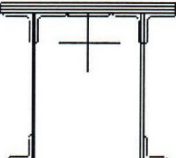
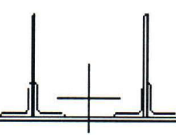
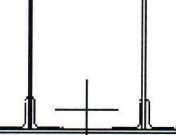
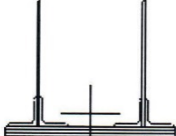
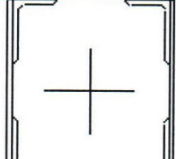
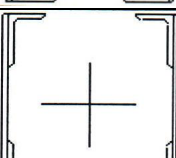
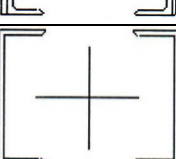
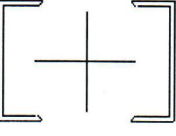
$$K_{\Pi} = \frac{R - \sigma_p}{\sigma_{н1}}, \quad (1)$$

$$K_y = \frac{R - \sigma_p}{\sigma_{н1y}}, \quad (2)$$

где K_{Π}, K_y – классы по прочности и устойчивости соответственно, σ_p – максимальное главное напряжение от постоянных нагрузок, $\sigma_{н1}$ – максимальное главное напряжение от эквивалентной единичной нагрузки, $\sigma_{н1y}$ – максимальное главное напряжение от эквивалентной единичной нагрузки при решении задачи на устойчивость.

Таблица 1

Сечения основных элементов пролётного строения

№ п/п	Наименование элемента, детали	Вид сечения (картинка)	Размеры
1	Верхние продольные балки главной фермы (B1'-2', B2'-3', B7'-8', B8'-9')		2 в.л. 410×10 2 г.л. 580×10 2 L 100×100×10
2	Верхние продольные балки главной фермы (B3'-4', B4'-5', B5'-6', B6'-7')		2 в.л. 480×10 3 г.л. 580×10 г.л. 140×10 4 L 100×100×10 2 L 80×80×10
3	Нижние продольные балки главных ферм (H0-1, H1-2, H8-9, H9-10)		2 в.л. 300×10 г.л. 580×10 4L 100×100×10
4	Нижние продольные балки главных ферм (H2-3, H3-4, H6-7, H7-8)		2 в.л. 420×10 3 г.л. 580×10 4 L 100×100×10
5	Нижние продольные балки главных ферм (H4-5, H5-6)		2 в.л. 420×10 3 г.л. 580×10 г.л. 350×10 4L 100×100×10
6	Раскос (P0-1', P9'-10)		2 в.л. 460×10 2 в.л. 360×10 3 г.л. 580×10 4 L 100×100×10 2 L 80×80×10
7	Раскос (P1'-2, P8-9')		2 в.л. 430×10 4 L 150×100×12
8	Раскос (P2-3', P7'-8)		2 в.л. 430×10 4 L 125×80×12
9	Раскос (P3'-4, P6-7')		2 Шв. № 26×9
10	Раскос (P4-5', P5'-6)		2 Шв. № 24×8,5

Результаты исследования

Результаты расчетов классов по прочности приведены в табл. 2, а данные расчетов по устойчивости – в табл. 3.

Результаты сравнения выполненных расчётов с расчетами «по руководству» показывают, что в ряде случаев класс грузоподъемности по прочности, рассчитанный по руководству, определён со значительной ошибкой «не в запас» (элементы Н1-2, Р0-1, Р2-3, Р3-4). Ошибка достигает 40 %. Некоторые элементы нижнего пояса и раскосы имеют небольшой запас по прочности, например, Н3-4, Р4-5.

Таблица 2

Результаты расчетов классов по прочности

Вид элемента	Класс при расчете по пространственной схеме	Класс «по руководству»	% отклонения
Н 1-2	11.03	12.78	–13.72
Н 3-4	11.31	10.86	4.16
Н4-5'	11.99	12.07	–0.67
В2'-3'	12.66	12.47	1.51
В4'-5'	10.91	11.57	–5.71
Р 0-1'	10.65	18.12	–41.20
Р1'-2	9.40	11.65	–19.34
Р2-3'	12.45	13.61	–8.56
Р3'-4	10.70	13.20	–18.94
Р4-5'	16.98	15.08	12.59
С5'-5	12.90	11.77	9.62

Таблица 3

Результаты расчетов классов по устойчивости

Вид элемента	Класс при расчете по пространственной схеме	Класс «по руководству»	% отклонения
В2'-3'	15.22	13.48	12.91
В4'-5'	15.15	13.45	12.67
Р 0-1	23.45	18.29	28.23
Р1'-2	11.01	–	–
Р2-3'	13.80	12.64	9.21
Р3'-4	10.19	22.82	–55.35
Р4-5'	12.60	12.18	3.45

Классы по устойчивости, рассчитанные на основании напряжений, полученных с помощью пространственной модели, показывают, что классы «по руководству» имеют определенный запас, за исключением Р3-4, где налицо значительная погрешность в расчете – «не в запас».

Устранение значительных погрешностей при определении классов грузоподъемности на основе расчетов трехмерных моделей позволит значительно уточнить вероятности и риски внезапных отказов основных элементов мостовых конструкций. Необходимость расчета таких вероятностей и рисков связана в том числе с разработкой научными подразделениями ОАО «РЖД» пакета нормативных документов отраслевой концепции «Управление ресурсами, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла» (УПРАН). Кроме того, использование уточненных оценок грузоподъемности позволит более корректно решать задачи оптимизации затрат по усилению пролетных строений в соответствии с современными требованиями по подготовке инфраструктуры под тяжеловесное и скоростное движение, проверить обоснованность уже имеющихся предупреждений по ограничению скорости движения поездов.

Заключение

По конкретному мосту через р. Псеуапсе, участок Туапсе – Веселое Северо-Кавказской железной дороги, произведенные расчеты вероятности внезапного отказа показывают достаточный запас прочности пролетного строения на ближайшие 15–20 лет при сохранении уровня обращающихся нагрузок и при условии пропуска транспортеров 300 т с ограничением скорости 5 км (без динамики).

Выполненные расчеты с помощью современного ПО показали, что наибольший риск в эксплуатации моста связан с уменьшением ресурса таких элементов, как продольные и поперечные балки мостового полотна, в то время как прочие основные элементы ферм обладают достаточным запасом грузоподъемности. Таким образом, рекомендация замены всего пролетного строения, сделанная по результатам обследования, может быть заменена на рекомендацию по ремонту, основным содержанием которого будет усиление, подъемный ремонт или замена продольных и поперечных балок мостового полотна.

Список литературы

1. Бокарев С.А., Ящук М.О. Усиление железобетонных пролетных строений мостов преднапряженными полимерными композиционными материалами // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 1 (61). – С. 98–107.
2. Условия обеспечения движения тяжеловесных поездов по искусственным сооружениям / С.А. Бокарев, Ю.Н. Мурованный, С.С. Прибытков, А.М. Усольцев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 7. – С. 15–20.
3. Глушков С.П., Соловьев Л.Ю., Соловьев А.Л. Экспериментальная оценка долговечности сварных металлических пролетных строений мостов методом инфракрасной термографии // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2. – С. 63–71.
4. Жунев К.О. Статистический анализ факторов трещинообразования в сварных пролетных строениях // Сборник материалов VIII Междунар. науч.-техн. конф. «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». – Иркутск, 2017. – Т. 1. – С. 455–460.
5. Жунев К.О. Динамическое воздействие подвижной нагрузки на сварные пролетные строения // Наука и практика в решении стратегических и тактических задач устойчивого развития России: материалы конференции. – 2019. – С. 9–12.
6. Смердов Д.Н., Ящук М.О. Экспериментальные исследования несущей способности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных преднапряженными полимерными композиционными материалами // Научный журнал строительства и архитектуры. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – № 3. – С. 72–83. DOI: 10.25987/VSTU.2019.55.3.008.
7. Яшнов А.Н., Кузьменков П.Ю., Иванов Е.О. Развитие мониторинга технического состояния мостов // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 7. – С. 14–18.
8. Ящук М.О., Кобелев К.В. Особенности работы устройств для усиления конструкций железобетонных мостов с применением полимерных композиционных материалов // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт–2016): труды международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: РГУПС. – 2017. – Т. 4. – С. 142–145.
9. Ящук, М.О. Программа лабораторных исследований железобетонных балок, усиленных преднапряженными полимерными композиционными материалами // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 3. – С. 158–170.
10. Diachenko L., Benin A., Diachenko A. Design of dynamic parameters for simple beam bridges on high-speed railways // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – P. 022–048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022048.
11. Comparative Analysis of Methods for Calculating the Load Capacity of a Metal Bridge Span / I. Martynyuk, O. Popov, M. Yashchuk, A. Opatskikh // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 403 LNNS. – P. 529–537. DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_59.

12. Sun Y.Q., Cole C. Spiryagin M., Dhanasekar M. Vertical dynamic interaction of trains and rail steel bridges // *Electronic journal of structural engineering*. – 2013. – Vol. 13. – P. 88–97.
13. Nondestructive evaluation of FRP strengthening systems bonded on RC structures using pulsed stimulated infrared thermography / F. Taillade, M. Quiertant, K. Benzarti, J. Dumoulin // *Infrared Thermography, Dr. Raghu V Prakash (Ed.), InTech*. – 2012. – P. 193–208.
14. Yashchuk M., Smerdov D. Reinforced Concrete Elements Strengthened by Pre-stressed Fibre-reinforced Polymer (FRP) // *Transportation Research Procedia*. – 2021. – Vol. 54. – P. 157–165. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.02.060.
15. Train–track–bridge dynamic interaction: a state-of-the art review / W. Zhai, Z. Han, Z. Chen, L. Ling // *International journal of vehicle mechanics and mobility*. – 2019. – Vol. 57. – P. 984–1027.

References

1. Bokarev S.A., Yashchuk M.O. Usilenie zhelezobetonnykh proletrykh stroenii mostov prednapriazhennymi polimernymi kompozitsionnymi materialami [Reinforcement of reinforced concrete span structures of bridges with prestressed polymer composite materials]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia*, 2016, no. 1 (61), pp. 98–107.
2. Bokarev S.A., Murovannyi Iu.N., Pribytkov S.S., Usol'tsev A.M. Usloviia obespecheniia dvizheniia tiazhelovesnykh poezdov po iskusstvennym sooruzheniiam [Conditions for ensuring the movement of heavy trains on artificial structures]. *Zheleznodorozhnyi transport*. 2017, no. 7. pp. 15–20.
3. Glushkov S.P., Soloviev L.Yu., Soloviev A.L. Eksperimental'naia otsenka dolgovechnosti svarykh metallicheskiykh proletrykh stroenii mostov metodom infrakrasnoi termografii [Experimental assessment of the durability of welded metal span structures of bridges using infrared thermography]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia*, 2018, no. 2, pp. 63–71.
4. Zhunev K.O. Statisticheskii analiz faktorov treshchinoobrazovaniia v svarykh proletrykh stroeniiakh [Statistical analysis of crack formation factors in welded span structures], *Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Transportnaia infrastruktura Sibirskogo regiona»*. Irkutsk, 2017, no. 1. pp. 455–460.
5. Zhunev K.O. Dinamicheskoe vozdeistvie podvizhnoi nagruzki na svarye proletrye stroeniia [Dynamic impact of a moving load on welded superstructures], *Nauka i praktika v reshenii strategicheskikh i takticheskikh zadach ustoiчивого razvitiia Rossii: materialy konferentsii*, 2019, pp. 9–12.
6. Smerdov D.N., Yashchuk M.O. Eksperimental'nye issledovaniia nesushchei sposobnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov, usilennykh prednapriazhennymi polimernymi kompozitsionnymi materialami [Experimental studies of the bearing capacity of bent reinforced concrete elements reinforced with prestressed polymer composite materials], *Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury*, 2019, no. 3, pp. 72–83. doi: 10.25987/VSTU.2019.55.3.008.
7. Yashnov A.N., Kuzmenkov P.Yu., Ivanov E.O. Razvitie monitoringa tekhnicheskogo sostoiianiia mostov [Development of monitoring of the technical condition of bridges], *W Put' i putevye khoziaistvo*, 2021, no. 7, pp. 14–18.
8. Yashchuk, M.O. Kobelev K.V. Osobennosti raboty ustroistv dlia usileniia konstruktssii zhelezobetonnykh mostov s primeneniem polimernykh kompozitsionnykh materialov [Features of the operation of devices for strengthening the structures of reinforced concrete bridges using polymer composite materials], *Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo (Transport–2016): trudy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Rostov-na-Donu, 2017, no. 3, pp. 142–145.
9. Yashchuk, M.O. Programma laboratornykh issledovaniy zhelezobetonnykh balok, usilennykh prednapriazhennymi polimernymi kompozitsionnymi materialami [Program of laboratory studies of reinforced concrete beams reinforced with prestressed polymer composite materials], *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2017, no. 3, pp. 158–170.
10. Diachenko, L., Benin, A., Diachenko, A., Design of dynamic parameters for simple beam bridges on high-speed railways. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, pp. 022–048. doi: 10.1088/1757-899X/463/2/022048. – англоязычная статья.
11. Martynyuk I., Popov O., Yashchuk M., Opatskikh A. Comparative Analysis of Methods for Calculating the Load Capacity of a Metal Bridge Span // *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, Vol. 403 LNNS, pp. 529–537. doi: 10.1007/978-3-030-96383-5_59. – англоязычная статья.
12. Sun Y.Q., Cole C. Spiryagin M., Dhanasekar M. Vertical dynamic interaction of trains and rail steel bridges // *Electronic journal of structural engineering*, 2013, Vol. 13., pp. 88–97. – англоязычная статья.
13. Taillade F., Quiertant M., Benzarti K., Dumoulin J., Aubagnac C. Nondestructive evaluation of FRP strengthening systems bonded on RC structures using pulsed stimulated infrared thermography // *Infrared Thermography, Dr. Raghu V Prakash (Ed.), InTech*, 2012, pp. 193–208. – англоязычная статья.
14. Yashchuk M., Smerdov D. Reinforced Concrete Elements Strengthened by Pre-stressed Fibre-reinforced Polymer (FRP) // *Transportation Research Procedia*, 2021. Vol. 54, pp. 157–165. URL: DOI: 10.1016/j.trpro.2021.02.060. – англоязычная статья.
15. Zhai W., Han Z., Chen Z., Ling L., Zhu S. Train–track–bridge dynamic interaction: a state-of-the art review // *International journal of vehicle mechanics and mobility*, 2019, Vol. 57, pp. 984–1027. – англоязычная статья.

Об авторах

Попов Олег Нестерович (Ростов-на-Дону, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИИЦ «Криотрансэнерго» Ростовского государственного университета путей сообщения (Россия, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, e-mail: lab_tb_kte@sci.rgups.ru).

Мартынюк Игорь Владимирович (Ростов-на-Дону, Россия) – кандидат технических наук, директор НИИЦ «Криотрансэнерго» Ростовского государственного университета путей сообщения (Россия, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, e-mail: lab_tb_kte@sci.rgups.ru).

Яшук Максим Олегович (Ростов-на-Дону, Россия) – старший преподаватель кафедры «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог» Ростовского государственного университета путей сообщения (Россия, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, e-mail: maxum1986@gmail.com).

Хамидуллина Наталья Викторовна (Ростов-на-Дону, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог» Ростовского государственного университета путей сообщения (Россия, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, e-mail: natasha19720701@mail.ru).

About the authors

Oleg N. Popov (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Research and Development Center "Kriotransenergo", Rostov State University of Communications (2, Square of the Rostov Rifle Regiment of the People's Militia, Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation, e-mail: lab_tb_kte@sci.rgups.ru).

Igor V. Martynyuk (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Director of Research and Development Center "Kriotransenergo", Rostov State University of Communications (2, Square of the Rostov Rifle Regiment of the People's Militia, Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation, e-mail: lab_tb_kte@sci.rgups.ru).

Maksim O. Yashchuk (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Senior Lecturer of the Department of Research, Design and Construction of Railways, Rostov State University of Communications (2, Square of the Rostov Rifle Regiment of the People's Militia, Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation, e-mail: maxum1986@gmail.com).

Natalya V. Khamidullina (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Research, Design and Construction of Railways, Rostov State University of Communications (2, Square of the Rostov Rifle Regiment of the People's Militia, Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation, e-mail: natasha19720701@mail.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 26.05.2022

Одобрена: 26.06.2022

Принята к публикации: 01.09.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Сравнительный анализ методов расчета грузоподъемности металлического пролетного строения моста / О.Н. Попов, И.В. Мартынюк, М.О. Яшук, Н.В. Хамидуллина // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 3. – С. 70–78. DOI: 10.15593/24111678/2022.03.08

Please cite this article in English as: Popov O.N., Martynyuk I.V., Khamidullina N.V., Yashchuk M.O. Comparative analysis of methods for calculating the carrying capacity of the metal superstructure of the bridge. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2022, no. 3, pp. 70-78. DOI: 10.15593/24111678/2022.03.08