

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья
УДК 624.21.09
EDN: <https://elibrary.ru/jqrztg>



Оценка возможности использования окологабаритного пространства для железнодорожных мостов

А. А. Локтев, И. В. Шишкина✉

Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Наиболее популярные конструктивные решения мостовых переходов на железных дорогах представляют собой или балочные конструкции с достаточно большой высотой поперечного сечения, которое расположено ниже уровня приложения поезда нагрузки, или фермы, высота которых зависит от длины пролетного строения и чаще всего существенно превышает высоту железнодорожного габарита. Поэтому перспективным и актуальным является разработка конструктивных решений, которые позволили бы использовать пространство непосредственно вокруг транспортного габарита и не увеличивать высоту поперечного сечения снизу или сверху от плоскости приложения динамической нагрузки. Поскольку подвижная нагрузка от экипажа является знакопеременной и высокоциклической, то потребуются контролировать сжимающие и растягивающие напряжения вверху и внизу поперечного сечения пролетного строения. Цель работы — обоснование возможности использования геометрического пространства, непосредственно примыкающего к габариту транспортных средств, при разработке поперечного профиля пролетного строения искусственного сооружения.

Материалы и методы. Напряженно-деформированное состояние балочного пролетного строения определялось путем анализа изгибающих моментов и экстремальных нормальных напряжений, зная которые можно выбрать армирование железобетона или геометрические характеристики стальной балки. В качестве критериев оценки предлагается использовать нормальное напряжение, которое может быть как сжимающим, так и растягивающим, в зависимости от местоположения колесных пар на линиях влияния.

Результаты. Проведен анализ существующих подходов к оценке включения элементов поперечного сечения балочной конструкции, расположенных выше плоскости приложения нагрузки от колесных пар (например, бортов балластного корыта). Получены графические зависимости для момента инерции поперечного сечения с различными геометрическими параметрами, который фактически представляет собой целевую функцию, позволяющую увязать геометрические размеры балочного пролета вдоль и поперек движения экипажа с главными напряжениями и определить оптимальное положение поверхности приложения нагрузки относительно верха и низа поперечного сечения.

Обсуждение и заключение. Предлагаемый подход может быть использован как для открытых двутавровых сечений, так и для коробчатых с бортами, которые в настоящее время активно применяются при проектировании мостовых переходов для высокоскоростных железнодорожных магистралей. Существенный эффект может быть достигнут за счет увеличения бортов пролетного строения и расположения нижней полки коробчатой части поперечного сечения. В условиях многоуровневых развязок при одинаковых размерах пролета предлагаемые конструктивные решения позволят уменьшить расстояние между уровнями приложения подвижной нагрузки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железные дороги, мосты, окологабаритное пространство, оценка использования, борт несущих балок

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Локтев А. А., Шишкина И. В. Оценка возможности использования окологабаритного пространства для железнодорожных мостов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 4. С. 312–318.

✉ shishkinaira@inbox.ru (И. В. Шишкина)

© Локтев А. А., Шишкина И. В., 2024



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 624.21.09

EDN: <https://elibrary.ru/jqrztg>

Feasibility of using circumferential space for railway bridges

Alexey A. Loktev, Irina V. Shishkina✉

Russian University of Transport,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The most popular design solutions for bridge crossings on railways are either girder structures with a sufficiently high cross-sections located below the train load application level, or trusses whose height depends on the span length and more often than not far exceeds the height of the railway clearance. This motivates to consider design solutions that utilise the space immediately around the transport dimension without increasing the cross-sectional height from below or above the plane of application of the dynamic load. Since the cab exerts a variable and highly cyclic load, control of compressive and tensile stresses will be required at the top and bottom of the spanwise cross-section. The work attempts to justify the use of the geometric space immediately adjacent to the contour of the vehicles in the design of the transverse profile of the span structure.

Materials and methods. Authors determined the stress deformation of the beam span by analysing the bending moments and extreme normal stresses to select concrete reinforcement or steel beam geometry. The evaluation criteria are normal stresses, which could be compressive or tensile depending on the location of the wheel pairs on the impact lines.

Results. The paper analyses the existing approaches to evaluate the inclusion of cross-sectional elements of a girder structure located above the plane of wheel load application (e.g. ballast bed sides). The analysis provides graphical relationships for the moment of inertia of a cross-section with different geometries, which is actually a target function that relates the geometric dimensions of the girder span along and across the cab movement to the principal stresses and determines the optimum position of the load application surface relative to the top and bottom of the cross-section.

Discussion and conclusion. This approach is suitable for both open H-beam sections and box sections with sides currently widely used in the design of bridge crossings for high-speed railway lines. A significant effect could be achieved due to higher span sides and the location of the lower shelf of the cross-section box. Multi-level interchanges at the same span dimensions allow the proposed design solutions to reduce the distance between the levels of mobile load application.

KEYWORDS: railways, bridges, circumferential space, feasibility assessment, bearing beam edge

FOR CITATION: Loktev A. A., Shishkina I. V. Feasibility of using circumferential space for railway bridges. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(4):312-318. (In Russ.).

✉ shishkinaira@inbox.ru (I. V. Shishkina)

© Loktev A. A., Shishkina I. V., 2024

Введение. Развитие современных наземных транспортных систем во многом связано с развитием городских агломераций и транспортных магистралей между ними. При этом в самих агломерациях плотность дорог высока, а отношение площади в плане объектов транспортной инфраструктуры к общей площади населенного пункта может достигать 30 %. В этих условиях одним из самых востребованных инженерных решений является создание транспортных развязок, расположенных на различных уровнях. При многоуровневой компоновке развязок между пересекающимися в плане транспортными магистралями важным является соблюдение автомобильного или железнодорожного габарита как над мостовым переходом, так и под ним. Поэтому реализация традиционных балочных, арочных, ферменных расчетных схем пролетного строения с ездой поверху или с ездой понизу трудновыполнима из-за дефицита пространства при вертикальной компоновке транспортных развязок¹ [1]. На рис. 1 представлен железнодорожный путепровод на пересечении Северо-Восточной хорды и железнодорожной линии около станции Московского центрального кольца, вблизи которой будет развиваться транспортная инфраструктура в связи с реализацией проектов Московских центральных диаметров. Конструкция путепровода включает два типа продольных балок, объединенных в общую балочную систему: тонкостенные металлические балки со сплошной стенкой, расположенные под рельсошпальной решеткой, и металлические балки замкнутого поперечного сечения, ширина и высота которого имеют значения одного порядка и расположены слева и справа от габаритного пространства путепровода (рис. 2) [2, 3].



Рис. 1. Железнодорожный путепровод с расположением рельсошпальной решетки (1) в средней зоне балочного пролетного строения (2)

Fig. 1. Railway overpass with a rail-sleeper grid (1) located in the middle zone of the beam span (2)

Конструктивные решения, совмещающие балочное пролетное строение непосредственно под проезжей частью (для автомобильной дороги) или под верхним строением пути (для железной дороги) и стержневой системы, расположенной выше плоскости приложения подвижной нагрузки, встречаются достаточно часто при реализации мостовых переходов на железных дорогах [4, 5], второстепенных автомобильных дорогах и пешеходных маршрутах. При этом чаще всего подобные конструкции имеют ряд ограничений, связанных с небольшой расчетной нагрузкой, например при пропуске только легковых автомобилей и количества находящихся на сооружении людей, с небольшой высотой пешеходной зоны, небольшим пролетом мостового перехода (рис. 1).

Целью работы является обоснование возможности использования геометрического пространства, непосредственно примыкающего к габариту транспортных средств, при разработке поперечного профиля пролетного строения искусственного сооружения с учетом проектирования многоуровневых транспортных развязок в условиях современных городских агломераций. Объектом исследования при этом выступает само поперечное сечение, жесткость и размеры которого предлагается регулировать с помощью изменения расстояния между горизонтальными полками и вертикальным размером боковых бортов, возвышающихся над плоскостью приложения подвижной нагрузки от транспортных средств.

Материалы и методы. В настоящей работе рассматривается пролетное строение под один железнодорожный путь, поскольку большинство мостовых переходов на отечественных железных дорогах имеют именно такую поперечную расчетную схему [6, 7]. Это позволяет рассматривать балочное строение, работающее в основном на изгиб, без кручения, поскольку соосность пролетного строения и рельсошпальной решетки строго регламентируется нормативными документами, а наличие эксцентриситета, приводящего к изменению напряженно-деформированного состояния, отслеживается при проведении мониторинга и может быть исправлено при выполнении ремонтных работ. Если же устранить несоосность не представляется возможным, то требуется в расчетах учитывать кручение пролетного строения и проводить проверку его грузоподъемности и устойчивости боковому опрокидыванию [8, 9].

Включение в работу пролетного строения элементов поперечного сечения, расположенных выше проезжей части, рассматривалось рядом отечественных и зарубежных исследователей [9–12], но чаще всего это были элементы конструкции, выполнявшие

¹ Динамический расчет зданий и сооружений (справочник проектировщика) / под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. М.: Стройиздат, 1984. 303 с.

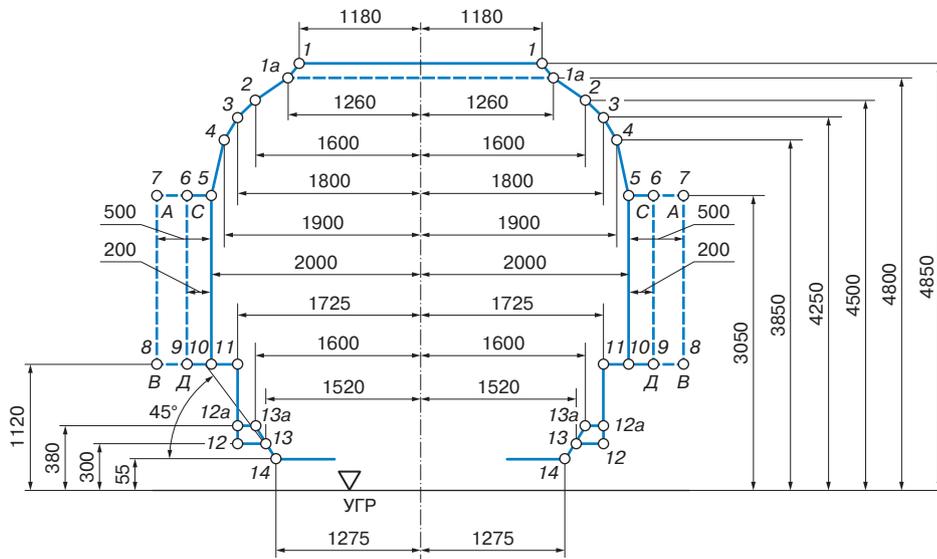


Рис. 2. Верхнее очертание габарита приближения строений 1-СМ:

— основной контур габарита; - - - контур необходимых свободных боковых пространств; УГР — уровень верха головок рельсов; отрезки А–В используются для всех устройств на перегонах, за исключением искусственных сооружений; отрезки С–Д используются для всех устройств на станциях и инженерных сооружениях на перегонах

Fig. 2. Upper outline of the structural clearance 1-CM:

— main dimension outline; - - - outline of required free lateral spaces; УГР — top of the rail heads; segments А–В are used for all devices on space intervals, except for engineering structures; segments С–Д are used for all devices at stations and engineering structures at space intervals

дополнительные функции: борта — для удержания щебня в железобетонном корыте пролетного строения моста, ограничители — для препятствия сходу подвижного состава с мостового перехода и т. д.

Известные методики учета временной вертикальной нагрузки от транспортных средств определяют интенсивность такого рода воздействия согласно формуле

$$v = \left(9,807 + \frac{10,787}{\exp(0,04\lambda)} + \frac{43,149}{\lambda^2} \right) \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right) K, \quad (1)$$

где λ — длина участка загрузки; α — промежуточные положения вершин линий влияния; K — класс устанавливаемой нагрузки.

Также учитывается нагрузка на ось экипажа, динамический коэффициент, коэффициент надежности по временной нагрузке, приведенная длина сегмента пролетного строения, на который передается нагрузка от одной колесной пары, длина подрельсового основания в направлении, перпендикулярном оси мостового перехода.

Соотношение (1) предполагает, что вертикальная нагрузка равномерно распределена по длине подрельсового основания. Если мостовой переход расположен в кривой, то требуется учитывать горизонтальную

компоненту нагрузки [13, 14], передаваемой от подвижного состава верхнему строению железнодорожного пути и вычисляемой по приведенной ниже формуле (2), при этом считается, что распределение нагрузки по длине подрельсового основания имеет равномерный характер:

$$v_h = \frac{180v}{R} \leq 0,15v \text{ или } v_h = \frac{60v}{R} \leq 0,15v, \quad (2)$$

где R — радиус кривизны в области приложения подвижной нагрузки.

Выбор первой или второй формулы зависит от принятой в расчете нормативной нагрузки С14 или С11 соответственно².

Выражения (1) и (2) позволяют определить нагрузку, действующую на верхнюю часть Н-образного поперечного сечения с внутренней стороны балочного строения (координаты рассматриваемой точки (Y, Z) показаны на рис. 3), для случая, когда элементы, расположенные выше плоскости приложения поезда нагрузки, полноценно работают в составе поперечного сечения пролетного строения, а не только для удержания балласта.

При определении напряжений в точке на внутренней поверхности борта используют положения теории механики грунта, основанные на перераспределении

² СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с изменением № 1): дата введения 2011-05-20. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 321 с.

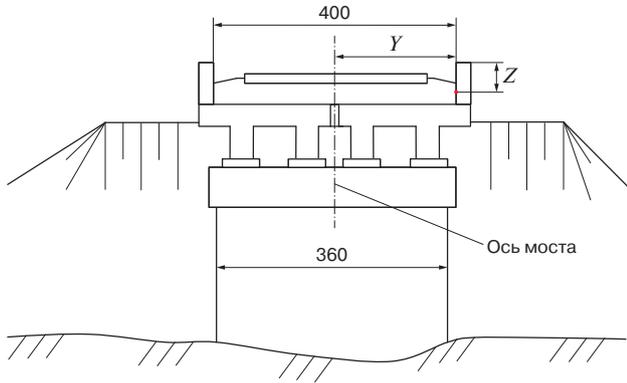


Рис. 3. Поперечный разрез однопутного мостового перехода с бортами для удержания балласта

Fig. 3. Cross-section of a single-track bridge crossing with ballast retaining walls

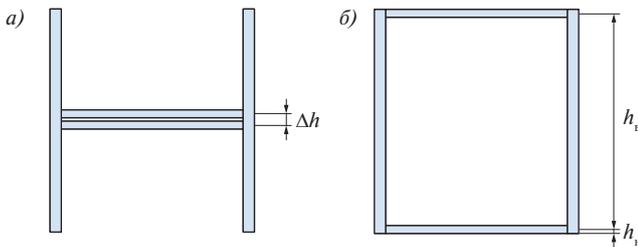


Рис. 4. Поперечное сечение мостового перехода с исследуемым размером:

a — H-образное; б — прямоугольное, близкое по очертанию к транспортному габариту

Fig. 4. Cross-section of a bridge crossing with the examined dimension: a — H-shaped; б — rectangular, close in outline to the transport dimensions

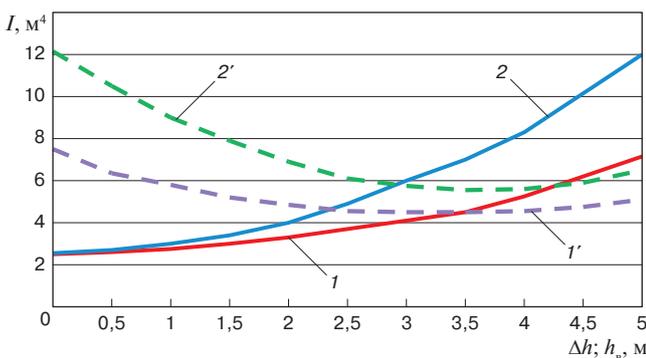


Рис. 5. Зависимость момента инерции поперечного сечения пролетного строения моста относительно горизонтальной оси от параметров сечения: сплошная линия от Δh , пунктирная линия от h_b , отсчитываемого сверху. Цифрами «1» и «2» показаны зависимости для поперечного сечения, рассчитанного для пропуска одного или двух транспортных средств соответственно (одинарный или двойной габарит)

Fig. 5. Dependence of the moment of inertia of the cross-section of the bridge span with respect to the horizontal axis on the parameters of the cross-section: solid line from Δh , dotted line from h_b , counted from above. The numbers “1” and “2” show the dependencies for the cross-section designed for the passage of one or two vehicles respectively (single or double dimension)

вертикальной нагрузки, действующей на верхнюю поверхность призмы, на крайнюю точку основания с учетом угла внутреннего трения и естественного откоса.

Напряжение от вертикальной компоненты нагрузки от подвижного состава в рассматриваемой точке при таком подходе [15, 16] может быть определено следующим выражением:

$$\sigma_q = \frac{q}{\pi} \left[\varphi_1 - \varphi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2\varphi_1 - \sin 2\varphi_2) \right], \quad (3)$$

а напряжение от горизонтальной компоненты нагрузки от подвижного состава определяется следующим образом:

$$\sigma_\tau = \frac{\tau}{\pi} \left[\ln \left(\frac{(0,5l_s + Y)^2 + Z^2}{(0,5l_s - Y)^2 + Z^2} \right) - \frac{2l_s Y Z^2}{(0,25l_s + Y^2 + Z^2)^2 - l_s^2 Z^2} \right], \quad (4)$$

где φ_1, φ_2 — углы между нормалью к подошве, проведенной через дальний и ближний торец подрельсового основания соответственно, и линией, связывающей искомую точку определения напряжений и нижнюю точку торца; l_s — длина полупалы, м.

Таким образом, получаем, что верхняя часть поперечного сечения пролетного строения (борт) работает в основном на изгиб, и в произвольном сечении борта изгибающий момент определяется по формуле

$$M_{q+\tau} = \int_0^{h_b} (\sigma_q + \sigma_\tau) b (h_b - Z) dz, \quad (5)$$

где b — приведенная длина рассматриваемого участка борта вдоль продольной оси мостового перехода, м; h_b — расстояние по вертикали от центра тяжести поперечного сечения до плоскости приложения поездной нагрузки, м.

Максимальное напряжение в нижней точке верхней части поперечного сечения от собственного веса верхнего строения пути определяется по формуле

$$\sigma_{b \max} = \gamma h_b \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (6)$$

где γ — усредненный удельный вес верхнего строения пути, тс; φ — угол внутреннего трения, град. (для щебеночного балласта $\varphi = 40^\circ$).

Величина, определяемая по формуле (6), необходима при проверке прочности на раскрытие (опрокидывание) бортовой части поперечного сечения от передаваемого давления со стороны балласта [8, 17, 18].

Рассмотрим в качестве основных два типа поперечных сечений пролетного строения мостового перехода: открытого (рис. 4, а) и закрытого профиля (рис. 4, б). Фактически можно представить оба сечения в виде одного, у которого величины Δh (расстояние между нижней и верхней полками поперечного коробчатого

сечения, m) и h_b переменны. На рис. 5 показано влияние на величину момента инерции относительно горизонтальной оси параметров сечения Δh (сплошная линия) для сечения типа, показанного на рис. 4, *a* и h_b (пунктирная линия) для сечения типа, изображенного на рис. 4, *б*. Полки сечения рис. 4, *a* симметрично раздвигаются от текущего состояния в сторону замкнутого прямоугольного поперечного сечения. В сечении типа 4, *б* верхняя полка перемещается вниз, а нижняя остается на месте. Удаление от плоскости приложения нагрузки крайних точек поперечного сечения приводит к увеличению нормальных напряжений в них. В сжатой зоне это может привести к потере устойчивости, поэтому в верхней части поперечного сечения также нужно предусматривать поперечно-вертикальные ребра жесткости или использование коробчатых элементов сечения — например, для бортов пролетного строения (рис. 1).

Кривые на рис. 5 показывают, каким образом изменяется момент инерции поперечного сечения пролетного строения и, следовательно, изгибная жесткость при различном положении поперечного элемента конструкции, к которому непосредственно прикладывается нагрузка от подвижного состава [18, 19]. Значения $\Delta h = h_b = 0$ соответствуют форме сечения, непосредственно изображенного на рис. 4, *a*, *б* соответственно. Уменьшение расстояния между горизонтальными полками на рис. 4, *б* приводит к нарушению габаритного вертикального размера, поэтому при такой компоновке предполагается, что нагрузка будет прикладываться не к нижней, а к верхней горизонтальной полке. Изгибная жесткость является функцией, через которую учитываются геометрические характеристики поперечного сечения и используемый материал при определении динамического поведения конструкции пролетного строения [15, 19].

Результаты. Полученные результаты позволяют более полно использовать окологабаритное пространство пролетных строений при проектировании, строительстве и реконструкции мостовых переходов за счет увеличения бортов несущих балок, экономя при этом пространство под и над самим пролетом.

Обсуждение и заключение. Предложенный инженерный подход позволит при проектировании новых и реконструкции существующих мостов и путепроводов более экономно использовать пространство над и под верхним строением железнодорожного пути, расположенным на пролетном строении. Расчеты показывают, что целесообразно увеличение высоты бортов поперечного сечения пролетного строения, создание пояса жесткости сверху этого борта и расположение нижней полки коробчатой части его поперечного сечения на наибольшем возможном расстоянии от плоскости приложения поездной нагрузки. При одинаковых размерах пролета такие

конструктивные решения позволят уменьшить расстояние между уровнями приложения подвижной нагрузки на 1–3 м.

Проводя несколько критериальное сравнение по геометрическим характеристикам поперечного сечения, изгибной жесткости, динамическому прогибу с одновременным учетом расположения несущих элементов конструкций относительно транспортных габаритов, можно прийти к наиболее компактной схеме компоновки поперечного сечения балочного пролета.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Влияние высокочастотного нагружения на структуру малоуглеродистой стали / Е.А. Гридасова [и др.] // Наука и техника транспорта. 2017. №2. С. 82–91. EDN: <https://www.elibrary.ru/ysphyv>.
2. Gridasova E. A., Nikiforov P. A., Loktev A. A., Grishin A. V., Sukhorada A. E. The effect of high-frequency loading on the structure of low-carbon steel. *Science and Technology in transport*. 2017;(2):82-91. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/ysphyv>.
3. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Illarionova L., Loktev D., Gridasova E. Perspective Constructions of Bridge Crossings on Transport Lines. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;1116:209-218. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_20.
4. Ланис А.Л., Разуваев Д.А., Ломов П.О. Сопряжение подходов насыпей с мостами и путепроводами // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. №2 (48). С. 110–120. EDN: <https://www.elibrary.ru/vtnxnz>.
5. Lanis A. L., Razuvaev D. A., Lomov P. O. Coupling of approach embankments with bridges and overpasses. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2016;(2):110-120. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/vtnxnz>.
6. Поляков В. Ю. Синтез оптимальных пролетных строений для высокоскоростной магистрали // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. №3(266). С. 35–42. EDN: <https://www.elibrary.ru/vzycph>.
7. Polyakov V. Yu. Synthesis of optimal superstructures for a high-speed highway. *Structural mechanics and analysis of constructions*. 2016;(3):35-42. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/vzycph>.
8. Baragetti S. Notch Corrosion Fatigue Behavior of Ti-6Al-4V. *Materials*. 2014;7(6):4349-4366. <https://doi.org/10.3390/ma7064349>.
9. Ivanchenko I. I. Method of calculating plates subjected to an inertial load moving at a variable speed. *Mechanics of Solids*. 2022;57(8):2111-2122. <https://doi.org/10.3103/s0025654422080167>.
10. Иванченко И. И. Динамика транспортных сооружений. Высокоскоростные подвижные, сейсмические и ударные нагрузки. М., 2011. 574 с. EDN: <https://www.elibrary.ru/qnxtxp>.
11. Ivanchenko I. I. *Dynamics of transport structures. High-speed mobile, seismic and shock loads*. Moscow; 2011. 574 p. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/qnxtxp>.

8. Matsumoto N., Asanuma K. Some experiences on track-bridge interaction in Japan. In: Calcada R., Delgado R., Campos A. et al. (eds) *Track-Bridge Interaction on High-Speed Railways*. London: CRC Press; 2008. p. 80–97. <https://doi.org/10.1201/9780203895399>.

9. Fryba L. Dynamic of railway bridges. Praha: Academia; 1996. 330 p.

10. Chen Y.H., Li C.Y. Dynamic response of elevated high-speed railway. *Journal of Bridge Engineering (ASCE)*. 2000;5(2):124–130. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2000\)5:2\(124\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2000)5:2(124)).

11. Иванченко И. И. Метод расчета стержневых систем на взаимодействие с инерционной нагрузкой при переменной скорости движения // Строительная механика и расчет сооружений. 2023. № 4 (309). С. 2–14. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2023.4.2.14>.

Ivanchenko I. I. Method for calculating rod systems for interaction with inertial load at variable speed of movement. *Structural mechanics and analysis of constructions*. 2023;(4):2–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2023.4.2.14>.

12. Loktev A. A. Dynamic contact of a spherical indenter and a prestressed orthotropic Uflyand-Mindlin plate. *Acta Mechanica*. 2011;222(1-2):17–25. <https://doi.org/10.1007/s00707-011-0517-8>.

13. Иванченко И. И. Метод расчета пластин на взаимодействие с инерционной нагрузкой при переменной скорости движения // Прикладная математика и механика. 2022. Т. 86, № 5. С. 695–709. <https://doi.org/10.31857/S0032823522050101>.

Ivanchenko I. I. Method for calculating plates for interaction with inertial load at variable speed of movement. *Applied Mathematics and Mechanics*. 2022;86(5):695–709. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0032823522050101>.

14. Egorov S. B., Kapitanov A. V., Loktev D. A. Modern methods and technological solutions for effective processing of gear wheels. *Materials Science Forum*. 2016;870:397–403. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.870.397>.

15. Перспективные конструкции мостовых переходов на транспортных магистралях / А. А. Локтев [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. Т. 77, № 6. С. 331–336. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-331-336>.

Loktev A. A., Korolev V. V., Loktev D. A., Shukuyurov D. R., Gelyukh P. A., Shishkina I. V. Perspective constructions of bridge overpasses on transport main lines. *Russian Railway Science Journal*. 2018;77(6):331–336. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-331-336>.

16. Egorov S., Kapitanov A., Loktev D. Turbine Blades Profile and Surface Roughness Measurement. In: Radionov A., ed. *International Conference on Industrial Engineering, ICIE, 16–19 May 2017, St. Petersburg*. St. Petersburg; 2017. p. 1476–1481. (Procedia Engineering; Vol. 206). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.664>.

17. Локтев А. А., Королев В. В., Шишкина И. В. Особенности оценки состояния и поведения низководных мостов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2021. Т. 80, № 6. С. 334–342. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-334-342>.

Loktev A. A., Korolev V. V., Shishkina I. V. Features of assessing the condition and behavior of low-water bridges. *Russian Railway Science Journal*. 2021;80(6):334–342. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-334-342>.

18. Особенности работы пролетного строения мостового перехода при смещении оси рельсошпальной решетки / В. В. Королев [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2020. Т. 79, № 3. С. 127–138. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-127-138>.

Korolev V. V., Loktev A. A., Shishkina I. V., Gridasova E. A. Features of the bridge span performance when shifting the axis of the rail-sleeper grid. *Russian Railway Science Journal*. 2020;79(3):127–138. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-127-138>.

19. Инновационные средства обеспечения управляемости технологических процессов / Д. А. Локтев [и др.] // Инновации. 2016. № 8 (214). С. 113–119. EDN: <https://www.elibrary.ru/ypowqq>.

Loktev D. A., Egorov S. B., Kapitanov A. V., Mitrofanov V. G., Egorova T. P. Innovative means of ensuring controllability of technological processes. *Innovations*. 2016;(8):113–119. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/ypowqq>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей Алексеевич ЛОКТЕВ,

д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство», Российский университет транспорта (ПУТ (МИИТ)), 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9), Author ID: 16528, <https://orcid.org/0000-0002-8375-9914>

Ирина Викторовна ШИШКИНА,

канд. техн. наук, доцент, кафедра «Транспортное строительство», Российский университет транспорта (ПУТ (МИИТ)), 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9), Author ID: 1040652, <https://orcid.org/0000-0002-6530-8116>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey A. LOKTEV,

Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Head of Transport Construction Department, Russian University of Transport (127994, Moscow, 9, bldg. 9, Obraztsova St.), Author ID: 16528, <https://orcid.org/0000-0002-8375-9914>

Irina V. SHISHKINA,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Transport Construction Department, Russian University of Transport (127994, Moscow, 9, bldg. 9, Obraztsova St.), Author ID: 1040652, <https://orcid.org/0000-0002-6530-8116>

ВКЛАД АВТОРОВ

Алексей Алексеевич ЛОКТЕВ. Постановка целей и задач исследования, общее руководство исследованием, написание текста статьи (50%).

Ирина Викторовна ШИШКИНА. Выполнение расчетов и редактирование текста статьи (50%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Alexey A. LOKTEV. Setting the aims and objectives of the study, overall management of the study, article writing (50%).

Irina V. SHISHKINA. Calculations and article editing (50%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 02.10.2024, рецензия от первого рецензента получена 04.11.2024, рецензия от второго рецензента получена 11.11.2024, рецензия от третьего рецензента получена 18.11.2024, принята к публикации 20.11.2024.

The article was submitted 02.10.2024, first review received 04.11.2024, second review received 11.11.2024, third review received 18.11.2024, accepted for publication 20.11.2024.