

## РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ANALYSIS AND DESIGN OF BUILDING STRUCTURES

DOI 10.22363/1815-5235-2021-17-4-315-323

УДК 624.21

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH ARTICLE

### Обоснование разработки и применения программ экспресс-оценки автодорожных мостов при пропуске по ним тяжеловесных транспортных средств

Е.А. Луговцев

Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Москва, Российская Федерация

✉ [Lugovea@mail.ru](mailto:Lugovea@mail.ru)

#### История статьи

Поступила в редакцию: 17 февраля 2021 г.

Доработана: 08 июня 2021 г.

Принята к публикации: 22 июля 2021 г.

#### Для цитирования

Луговцев Е.А. Обоснование разработки и применения программ экспресс-оценки автодорожных мостов при пропуске по ним тяжеловесных транспортных средств // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2021. Т. 17. № 4. С. 315–323 <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-4-315-323>

**Аннотация.** Приводятся теоретические предпосылки для обоснования разработки двух программ экспресс-оценки автодорожных мостов для быстрого определения возможности пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостовым сооружениям разрезной и неразрезной системы, из дерева, металла, сталежелезобетона, железобетона с напрягаемой и ненапрягаемой арматурой, по измеряемому углу поворота их опорных сечений, с учетом их фактического эксплуатационного состояния. В программах реализован экспериментально-аналитический метод оценки технического состояния автодорожных мостов по безотказности. Раскрыты особенности, условия применения, положительные и отрицательные стороны каждого варианта программы. Создание двух вариантов программ обусловлено, с одной стороны, необходимостью обеспечения безопасности водителя транспортного средства и мостового сооружения, а с другой стороны – необходимостью обеспечения гарантии возможности безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств, как по условиям несущей способности пролетных строений, так и несущей способности опор автодорожных мостов с учетом их фактического эксплуатационного состояния. Обе разработанные программы расчета реализованы с использованием персонального компьютера и получены свидетельства о государственной регистрации программ на ЭВМ. Разработанные программы будут использованы в составе модернизированного измерительного комплекса ИК-АМ.

**Ключевые слова:** мост, пролетное строение, прогиб, тяжеловесное транспортное средство, изгибная жесткость, частота собственных колебаний, программа расчета, экспресс-оценка

Луговцев Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры дорог, мостов и переправ, Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Российская Федерация, 119121, Москва, пр-д Девичьего Поля, д. 4; eLIBRARY SPIN-код: 8843-6213; [Lugovea@mail.ru](mailto:Lugovea@mail.ru)

© Луговцев Е.А., 2021

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Justification of the development and application of express assessment programs for road bridges when heavy vehicles pass through them

Evgeny A. Lugovtsev

Military Training and Research Center of Land Forces “Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation”,  
Moscow, Russian Federation

✉ Lugovea@mail.ru

### Article history

Received: February 17, 2021

Revised: June 08, 2021

Accepted: July 22, 2021

### For citation

Lugovtsev E.A. Justification of the development and application of express assessment programs for road bridges when heavy vehicles pass through them. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2021;17(4):315–323. (In Russ.)  
<http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-4-315-323>

**Abstract.** The theoretical prerequisites for justifying the development of two rapid assessment programs for road bridges to quickly determine the possibility of passing heavy vehicles on road bridge structures of a split and non-split system, made of wood, metal, steel-reinforced concrete, reinforced concrete with stressed and non-stressed reinforcement, according to the measured angle of rotation of their support sections, taking into account their actual operational condition, are presented. The programs implemented an experimental and analytical method for assessing the technical condition of road bridges for reliability. The features, conditions of application, positive and negative aspects of each version of the program are revealed. The creation of two variants of programs is due to, on the one hand, the need to ensure the safety of the driver of the vehicle and the bridge structure, and on the other hand, the need to guarantee the possibility of safe passage of heavy vehicles, both under the conditions of the load-bearing capacity of superstructures and the load-bearing capacity of road bridge supports, taking into account their actual operational condition. Both developed calculation programs were implemented by using a personal computer and certificates of state registration of computer programs were obtained. The developed programs will be used as part of the modernized IR-AM measuring complex.

**Keywords:** bridge, superstructure, deflection, heavy vehicle, bending stiffness, natural vibration frequency, calculation program, express assessment

### Введение

В результате проведенных исследований в [1; 2] предложен и опубликован способ быстрого определения возможности безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостовым сооружениям с учетом их фактического эксплуатационного состояния по измеряемому углу поворота их опорных сечений.

Для применения этого способа разработаны два варианта программ с использованием:

- 1) макета тяжеловесного транспортного средства с его реальной полной массой и распределением ее по осям той же колесной формулы;
- 2) эталона транспортного средства существенно меньшей массы и иной колесной формулы с базой менее 6 м.

Создание двух вариантов программ обусловлено необходимостью обеспечения, с одной стороны, безопасности водителя транспортного средства и мостового сооружения; с другой стороны – гарантии безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств, как по условиям несущей способности пролетных строений, так и несущей способности опор автодорожных мостов с учетом их фактического эксплуатационного состояния.

### Теоретические предпосылки для обоснования разработки двух программ экспресс-оценки автодорожных мостов

В [1] получена строгая зависимость прогиба  $f$  в середине пролетов от величины пролетов  $l$  и тангенса угла наклона их исходных опорных сечений от воздействия пропускаемых нагрузок для случаев загрузки любой произвольной нагрузкой в следующем виде:

Evgeny A. Lugovtsev, Ph.D., Associate Professor, doctoral student of the Department of Roads, Bridges and Crossings, Military Training and Research Center of Land Forces “Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation”, 4 Devich'ego Polya Proezd, Moscow, 119121, Russian Federation; eLibrary PIN: 8843-6213; Lugovea@mail.ru

$$f_{\max} = \frac{l}{\pi} \operatorname{tg}\theta, \quad (1)$$

где  $f$  – прогиб пролетного строения в середине пролета, м;  $\theta$  – угол наклона опорного сечения от пропускаемого транспортного средства;  $l$  – длина пролетного строения моста, м.

Зависимость напряжения в середине пролета балочного пролетного строения от любой подвижной нагрузки от относительного прогиба, относительной высоты пролетного строения и модуля упругости материала пролетного строения получена по фундаментальной связи профессора П.М. Саламахина между тремя безразмерными параметрами в [1], а коэффициент  $\alpha$  в [2]:

$$\sigma_{\text{вр}} = \alpha \rho E \frac{fh}{l}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения пролетного строения;  $\rho$  – коэффициент, зависящий от схемы его загрузки  $\rho = \left(\frac{48}{5}\right) = 9,6$ ;  $E$  – модуль упругости, МПа;  $h$  – высота балок пролетного строения моста, м.

Коэффициент  $\alpha$ , зависящий от формы и материала поперечного сечения, требует уточнения.

Для стальных и клееных деревянных пролетных строений с учетом особенностей их формы поперечных сечений и учета работы верхнего пояса на общее и местное действие временной нагрузки эти коэффициенты приняты 0,625 и 0,5 соответственно [3–5]. Для пролетных строений из комбинации бетона с арматурой или сталью определение коэффициентов требует специального решения.

Рассмотрим решение данной задачи применительно к железобетонным пролетным строениям с не-напрягаемой и напрягаемой арматурой. Эти две группы пролетных строений имеют одинаковое свойство: изгибающий момент в середине их пролетов воспринимается парой сил на некотором плече  $Z$  между равнодействующими в металле или арматуре в нижнем поясе и равнодействующей в бетоне в верхнем поясе поперечного сечения.

Учтем, что по физической сущности статического момента площадей, сжатой и растянутой зон рассматриваемого поперечного сечения относительно нейтральной оси [6] в рассматриваемых случаях должно выполняться следующее условие:

$$((1 - \alpha)z)F_{\text{бет}} = (\alpha z)F_{\text{арм}} \frac{E_{\text{арм}}}{E_{\text{бет}}}, \quad (3)$$

где  $F_{\text{бет}}$  – площадь бетона, активно включающаяся на сжатие в сжатой зоне с центром тяжести, удаленном от нейтральной оси на расстояние  $(1 - \alpha)z$ ;  $F_{\text{арм}}$  – площадь арматуры, активно включающаяся на растяжение в растянутой зоне с центром тяжести, удаленном от нейтральной оси на расстояние  $\alpha z$ .

Учтем также, что по условию прочности бетона при этом должно соблюдаться условие

$$F_{\text{бет}} R_{\text{бет}} = F_{\text{арм}} R_{\text{арм}}. \quad (4)$$

Из него получаем

$$F_{\text{арм}} = \frac{F_{\text{бет}} R_{\text{бет}}}{R_{\text{арм}}}. \quad (5)$$

Подставим (5) в (3) и получим

$$((1 - \alpha)z)F_{\text{бет}} = (\alpha z) \frac{F_{\text{бет}} R_{\text{бет}}}{R_{\text{арм}}} \cdot \frac{E_{\text{арм}}}{E_{\text{бет}}}. \quad (6)$$

После сокращения на  $F_{\text{бет}}$  и  $Z$  получаем

$$(1 - \alpha) = \alpha \frac{R_{\text{бет}}}{R_{\text{арм}}} \cdot \frac{E_{\text{арм}}}{E_{\text{бет}}}. \quad (7)$$

Таким образом, для определения строгого значения  $\alpha$ , только по физико-механическим характеристикам материалов пролетного строения, без наличия данных об их размерах, имеем

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{R_{\text{бет}}}{R_{\text{арм}}} \cdot \frac{E_{\text{арм}}}{E_{\text{бет}}}}. \quad (8)$$

В [1] получена формула для определения реальной изгибной жесткости  $EI$  пролетного строения в середине пролета по известным значениям изгибающего момента от временной нагрузки в середине пролета, величине пролета и прогибу в середине пролета:

$$EI = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{\text{вр}} l^2}{f}. \quad (9)$$

Вычисленная жесткость представляет собой характеристику поперечного сечения пролетного строения с учетом его фактического эксплуатационного состояния.

Используя жесткость пролетного строения с учетом его фактического эксплуатационного состояния, представляется возможность определить момент инерции:

$$I_{\text{пс}} = \frac{EI}{E_{\text{пс}}}. \quad (10)$$

Зная момент инерции и используя коэффициент  $\alpha$ , возможно определить момент сопротивления для нижней (11) и верхней (12) кромок пролетного строения:

$$W_{\text{пс}} = \frac{I_{\text{пс}}}{\alpha h}, \quad (11)$$

$$W_{\text{пс}} = \frac{I_{\text{пс}}}{(1 - \alpha)h}. \quad (12)$$

Быстрое определение погонной нагрузки  $g_{\text{св}}$  от собственного веса пролетного строения предложено в [2] на основе формул для частоты собственных колебаний балочных пролетных строений [7]:

$$q_{св} = g \frac{\gamma_i^4 EI}{4\lambda_i^2 \pi^2 l^4}, \quad (13)$$

где  $\lambda_i$  – частота, соответствующая  $i$ -той форме колебаний, Гц;  $EJ$  – жесткость пролетного строения;  $\gamma_i$  – корни характеристического уравнения;  $g$  – ускорение свободного падения.

Предложенный способ является оперативным и может давать погрешности. Практика показывает, что частоты собственных колебаний имеют значительный разброс даже для железобетонных пролетных строений, изготовленных по одному типовому проекту [8]. Например, в [9] показано насколько сильно собственные частоты колебаний зависят от температуры. Однако ввиду простоты и доступности метода вибродиагностики по низшим формам колебаний исследования в этом направлении продолжаются [10–12]. За рубежом методы вибродиагностики также находят применение [13–15].

Изгибающий момент от собственного веса и временной нагрузки определяется с учетом коэффициента неразрезности предложенного в [2]:

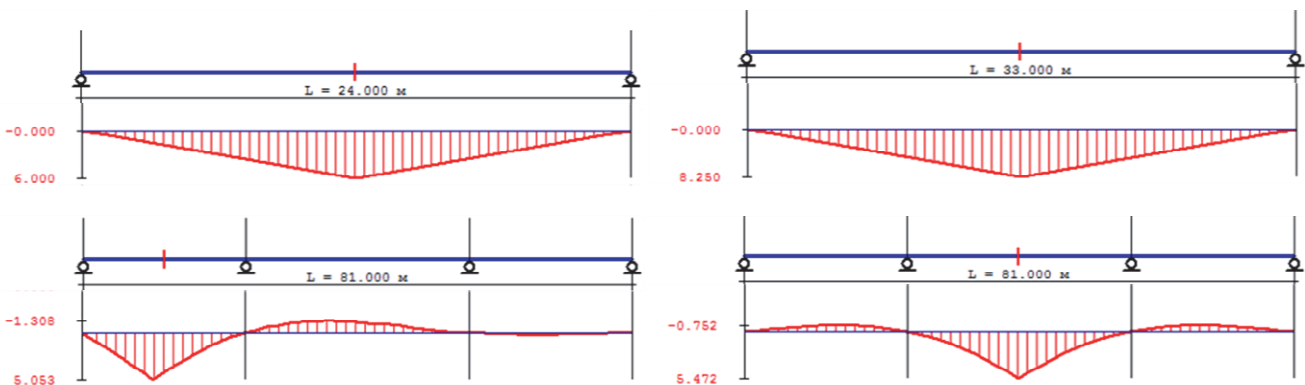
$$M_{св} = \frac{\beta q_{св} l^2}{8}, \quad (14)$$

$$M_{вр} = \beta \Omega_M q_{вр}, \quad (15)$$

где  $\beta$  – коэффициент неразрезности;  $q_{св}$  – погонный вес пролетного строения, кг/м;  $\Omega_M$  – площадь линии влияния изгибающего момента, м<sup>2</sup>.

Его численное значение получено при сопоставлении ординат линий влияния изгибающих моментов в середине разрезных пролетов, в средних пролетах неразрезных многопролетных строениях при их шарнирном опирании на соответствующие опоры без защемления на них.

Сопоставим линии влияния изгибающего момента в середине пролета для разрезного пролетного строения с пролетом 24, 33, 42 м и неразрезного для середины первого (крайнего) и второго (среднего) пролета с соответствующими пролетами (рисунок).



Линии влияния изгибающего момента в разрезных и неразрезных пролетных строениях  
Influence lines of bending moment in simple and continuous superstructures

Результаты сравнения максимальных ординат позволили получить коэффициенты неразрезности (таблица).

Таким образом, значение коэффициента неразрезности  $\beta$  с погрешностью не более 3 % принимаем:

- для разрезных пролетных строений – 1;
- неразрезных на одной опоре (первый и последний пролет) – 0,84;
- неразрезных на двух опорах (средний пролет) – 0,68.

Значения максимальных ординат изгибающего момента и коэффициента неразрезности

№ п/п	Исследуемый фактор (схема моста)	Пролет, м	Разрезное ПС	Значение расчетного фактора						
				Неразрезные пролетные строения						
				3 пролета		4 пролета		5 пролетов		
1-й	2-й	1-й	2-й	1-й	2-й	3-й				
1	Максимальная ордината изгибающего момента, м (24 + 33 ... + 24)	24	6	5,05		5,06		5,06		
		33	8,25		5,47		5,55		5,55	5,62
2	Коэффициент неразрезности $\beta$ (24 + 33 ... + 24)		1	0,84	0,66	0,84	0,67	0,84	0,67	0,68
3	Максимальная ордината изгибающего момента, м (33 + 42 ... + 33)	33	8,25	6,9		6,91		6,91		
		42	10,5		7,06		7,11		7,11	7,16
4	Коэффициент неразрезности $\beta$ (33 + 42 ... + 33)		1	0,84	0,67	0,84	0,68	0,84	0,68	0,68

Table

The values of the maximum bending moment ordinates and the continuity coefficient

No	The factor under study (bridge diagram)	Span, m	Split superstructure	The value of the calculation factor						
				Continuous superstructures						
				3 spans		4 spans		5 spans		
1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	3rd				
1	Maximum bending moment ordinate, m (24 + 33 ... + 24)	24	6	5.05		5.06		5.06		
		33	8.25		5.47		5.55		5.55	5.62
2	The coefficient of continuity $\beta$ (24 + 33 ... + 24)		1	0.84	0.66	0.84	0.67	0.84	0.67	0.68
3	Maximum bending moment ordinate, m (33 + 42 ... + 33)	33	8.25	6.9		6.91		6.91		
		42	10.5		7.06		7.11		7.11	7.16
4	The coefficient of continuity $\beta$ (33 + 42 ... + 33)		1	0.84	0.67	0.84	0.68	0.84	0.68	0.68

Для упрощения расчета нагрузка от макета тяжеловесного транспортного средства или эталона приводится к равномерной эквивалентной погонной нагрузке  $q$ , с длиной базы  $s$  и удалении равнодействующей нагрузки от первой его оси  $c_0$ .

$$q_{\text{вп}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{s}; \quad (16)$$

$$s = \sum_n DP_{n-1,n}; \quad (17)$$

$$c_0 = \frac{P_2 DP_{12} + P_3 (DP_{12} + DP_{23}) + P_n \left( \sum_n DP_{mn} \right)}{\sum_n P_i}, \quad (18)$$

где  $P_i$  – нагрузка на  $i$ -тую ось, кгс;  $s$  – расстояние от первой до последней оси транспортного средства, м;  $DP_{mn}$  – расстояние между смежными осями транспортного средства, м;  $n$  – количество осей транспортного средства, шт.

Приведенные теоретические предпосылки использованы для разработки экспериментально-аналитического метода оценки технического состояния автодорожных мостов по безотказности [16]. Метод реализован в двух программах экспресс-оценки технического состояния автодорожных мостов разрезной и неразрезной системы, из дерева, металла, сталежелезобетона, железобетона с напрягаемой и ненапрягаемой арматурой по измеряемому углу поворота их опорных сечений, с учетом их фактического эксплуатационного состояния.

### Особенности и условия применения разработанных программ

Рассмотрим особенности и условия применения вариантов разработанных программ экспресс-оценки автодорожных мостов.

Представленные теоретические предпосылки позволили разработать два варианта программы быстрого экспериментального определения возможности безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостовым сооружениям с учетом их фактического эксплуатационного состояния.

*Первый вариант программы* – с использованием макета тяжеловесного транспортного средства с его реальными полной массой и распределением ее по осям, той же колесной формулы<sup>3</sup>.

На каждом шаге движения макета реальной нагрузки определяется угол поворота опорного сечения от его воздействия, по которому вычисляется прогиб в середине пролета и сравнивается с допустимым по СП35.13330.2011.

В зависимости от расположения нагрузки на пролетном строении определяются площадь линии влияния изгибающего момента в середине пролета под погонной равномерно распределенной нагрузкой от макета и вычисляются от него изгибающий момент и поперечная сила на каждом шаге движения макета.

Также вычисляются максимальные значения изгибающего момента и поперечной силы от собственного веса пролетного строения.

Затем от совместного действия макета и собственного веса пролетного строения вычисляются напряжения в кромках балок пролетного строения и производится их сравнение с возможными их значениями.

Расчетные сопротивления материала пролетного строения определяются по ОДМ 218.4.025–2016. Допустимые значения поперечной силы для железобетонных пролетных строений определяются по ОДМ 218.4.026–2016.

Если условия прочности по первому и второму предельному состоянию не выполняются на любом шаге движения макета, то подается команда на остановку макета транспортного средства.

*Второй вариант программы* – с использованием эталона транспортного средства существенно меньшей массы и иной колесной формулы с базой менее 6 м<sup>4</sup>.

Отличие в расчете в этом варианте программы от первого варианта заключается в том, что измерение углов поворота опорного сечения и последующий расчет жесткости пролетного строения, с учетом его фактического эксплуатационного состояния, выполняется только один раз при установке эталона транспортного средства в самое невыгодное положение. А проверка условий прочности выполняется аналитически только от воздействия реального тяжеловесного транспортного средства.

### Заключение

Разработанные программы расчета реализованы автором с использованием персонального компьютера.

Использование первого варианта программы позволяет гарантировать возможность безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств, как по условиям прочности пролетных строений,

<sup>3</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619487 Российская Федерация. Имитационная модель определения возможности безотказного пропуска сверхтяжелого транспортного средства по автодорожным мостовым сооружениям с использованием его грузомакета / Е.А. Луговцев, В.П. Герасименя, П.М. Саламахин; заявитель ВУНЦ СВ «ОБА ВС РФ». № 2021618684; заявл. 04.06.2021; опубл. 10.06.2021.

<sup>4</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619488 Российская Федерация. Аналитическая модель определения возможности безотказного пропуска сверхтяжелого транспортного средства по автодорожным мостовым сооружениям с использованием эталона с базой менее 6 м / Е.А. Луговцев, В.П. Герасименя, П.М. Саламахин; заявитель ВУНЦ СВ «ОБА ВС РФ». № 2021618714; заявл. 04.06.2021; опубл. 10.06.2021.

так и по несущей способности опор автодорожных мостов, с учетом их фактического эксплуатационного состояния.

В качестве недостатков следует отметить необходимость использования макета тяжеловесного транспортного средства полной массы и одинаковой колесной формулы, что небезопасно, редко реализуемо и не всегда возможно при коротких пролетах мостовых сооружений.

Второй вариант программы обеспечивает возможность пропуска тяжеловесных транспортных средств с любыми по длине пролетами, но только по условиям прочности пролетных строений автодорожных мостов, с учетом их фактического эксплуатационного состояния, позволяет безопасно использовать любую подвижную нагрузку в виде эталона с длиной не более 6 м. Данный вариант не позволяет оценить несущую способность опор пролетных строений.

Разработанные программы будут использованы в составе модернизированного измерительного комплекса ИК-АМ, создаваемого на основе системы измерений СИ-ППМ [17] с добавлением новых компонентов.

### Список литературы

1. Саламахин П.М., Луговцев Е.А. Обоснование необходимости и способа модернизации программного обеспечения измерительного комплекса для оценки грузоподъемности балочных пролетных строений автодорожных мостов // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2020. Т. 16. № 1. С. 5–12. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-5-13>
2. Саламахин П.М., Луговцев Е.А. Способ быстрого определения возможности пропуска сверхтяжелых транспортных средств по автодорожным балочным мостам // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2020. № 3. С. 28–31.
3. Нгуен М.Т. Автоматизированное проектирование неразрезных металлических пролетных строений автодорожных мостов с ортотропной плитой проезжей: дис. ... канд. техн. наук. М.: МАДИ, 2011. 155 с.
4. Нгуен М.Т. Оптимизация параметров неразрезных металлических пролетных строений автодорожных мостов с ортотропной плитой проезжей части // *Вестник МАДИ*. 2011. № 3 (26). С. 87–90.
5. Нгуен М.Т. Оптимизация параметров коробчатых металлических пролетных строений // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2011. № 3. С. 32–33.
6. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов: в 2 т. Т. 1. Элементарная теория и задачи / пер. В.Н. Федорова. М.: Физматгиз, 1960. 379 с.
7. Справочник проектировщика / под ред. А.А. Уманского М.: Госстройиздат, 1960. 1043 с.
8. Яшинов А.Н., Снежков И.И. Опыт диагностики искусственных сооружений методом малых воздействий // *Транспортные сооружения*. 2019. № 3. 23SATS319. <http://dx.doi.org/10.15862/23SATS319>
9. Слюсарь А.В., Яшинов А.Н. Моделирование железобетонных пролетных строений в конечно-элементной среде // *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*. 2005. № 12. С. 135–138.
10. Курбацкий Е.Н., Бондарь И.С., Квашин М.Я. Исследование отклика балочных мостов от воздействия поезда // *Мир транспорта*. 2015. Т. 13. № 3. С. 58–71.
11. Бондарь И.С. Измерение деформаций балочных пролетных строений мостов // *Мир транспорта*. 2016. № 6 (67). С. 36–51.
12. Бондарь И.С., Квашин М.Я., Косенко С.А. Диагностика и мониторинг балочных пролетных строений железнодорожных мостов // *Политранспортные системы: материалы IX Международной научно-технической конференции*. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2017. С. 35–43.
13. Larocca A.P.C., Schaal R.E., Santos M.C. L1 GPS as tool for monitoring the dynamic behavior of large bridges // *Global Navigation Satellite Systems – From Stellar to Satellite Navigation*. IntechOpen; 2013. Pp. 117–144. <http://dx.doi.org/10.5772/56567>
14. Koh H.-M., Chang S.P., Kim S.-K., Kim S.-Y., Kim W.J. Development and application of health monitoring system for bridge in Korea // *Proc. First Int. Conf. on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2002, Barcelona*, 14–17 July, 2002. Barcelona, 2002.
15. Wenzel H. Health monitoring of bridges. Chichester: John Wiley & Sons, 2009. 621 p.
16. Луговцев Е.А. Методы экспресс – оценки технического состояния автодорожных мостов по безотказности при пропуске сверхтяжелых нагрузок через водные преграды // *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*. 2021. № 7–8 (157–158). С. 63–69. [http://dx.doi.org/10.53816/23061456\\_2021\\_7-8\\_63](http://dx.doi.org/10.53816/23061456_2021_7-8_63)
17. Луговцев Е.А., Ерофеев М.Н. Опыт применения измерительного комплекса «Система измерений для проверки постоянных мостов» для определения возможности пропуска сверхтяжелых нагрузок // *Транспортные сооружения*. 2019. Т. 6. № 3. С. 17. <http://dx.doi.org/10.15862/19SATS319>



## References

1. Salamakhin P.M., Lugovtsev E.A. Substantiation of the necessity and method of modernization of the software of the measuring complex for assessing the load capacity of girder spans of road bridges. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020;16(1):5–12. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-5-13>
2. Salamakhin P.M., Lugovtsev E.A. A method for quickly determining the possibility of passing super-heavy vehicles on road girder bridges. *Science and Technology in the Road Sector*. 2020;(3):28–31. (In Russ.)
3. Nguyen M.T. *Computer-aided design of continuous metal superstructures of road bridges with an orthotropic roadway plate* (dissertation of the Candidate of Technical Sciences). Moscow: MADI; 2011. (In Russ.)
4. Nguyen M.T. Optimization of parameters of continuous metal superstructures of road bridges with an orthotropic plate of the roadway. *MADI's Messenger*. 2011;3(26):87–90. (In Russ.)
5. Nguyen M.T. Optimization of parameters of box-shaped metal superstructures. *Science and Technology in the Road Industry*. 2011;(3):32–33. (In Russ.)
6. Timoshenko S.P. *Resistance of materials. Vol. 1. Elementary theory and problems* (V.N. Fedorov, transl.). Moscow: Fizmatgiz Publ.; 1960. (In Russ.)
7. Umansky A.A. (ed.) *Designer's reference guide*. Moscow: Gosstroyizdat Publ.; 1960. (In Russ.)
8. Yashnov A.N., Snejkov I.I. Experience of diagnostics of engineering structures by the method of small impacts. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2019;(3):23SAT319. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.15862/23SAT319>
9. Slyusar A.V., Yashnov A.N. Modeling of reinforced concrete superstructures in a finite element environment. *Bulletin of the Siberian State University of Railway Communications*. 2005;(12):135–138. (In Russ.)
10. Kurbatsky E.N., Bondar I.S., Kvashin M.Ya. Investigation of the response of beam bridges from the impact of a train. *The World of Transport*. 2015;13(3):58–71. (In Russ.)
11. Bondar I.S. Measurement of deformations of girder span structures of bridges. *Mir Transport*. 2016;6(67):36–51. (In Russ.)
12. Bondar I.S., Kvashin M.Ya., Kosenko S.A. Diagnostics and monitoring of beam superstructures of railway bridges. *Polytransport Systems: Materials of the IX International Scientific and Technical Conference*. Novosibirsk: Publishing House of Siberian Transport University; 2017. p. 35–43. (In Russ.)
13. Larocca A.P.C., Schaal R.E., Santos M.C. L1 GPS as tool for monitoring the dynamic behavior of large bridges. In: *Global Navigation Satellite Systems – From Stellar to Satellite Navigation*. IntechOpen; 2013. p. 117–144. <http://dx.doi.org/10.5772/56567>
14. Koh H.-M., Chang S.P., Kim S.-K., Kim S.-Y., Kim W.J. Development and application of health monitoring system for bridge in Korea. *Proc. First Int. Conf. on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2002, Barcelona, 14–17 July, 2002*. Barcelona; 2002.
15. Wenzel H. *Health monitoring of bridges*. Chichester: John Wiley & Sons; 2009.
16. Lugovtsev E.A. Methods of express assessment of the technical condition of road bridges for reliability when passing superheavy loads through water barriers. *Questions of Defense Technology. Series 16: Technical Means of Countering Terrorism*. 2021;78(157–158):63–69. (In Russ.) [http://dx.doi.org/10.53816/23061456\\_2021\\_7-8\\_63](http://dx.doi.org/10.53816/23061456_2021_7-8_63)
17. Lugovtsev E.A., Erofeev M.N. Experience of application of the measuring complex “Measurement System for Testing Permanent Bridges” to determine the possibility of passing on permanent bridges of superheavy loads. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2019;3(6):17. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.15862/19SAT319>