



DOI 10.22363/1815-5235-2023-19-1-35-45

EDN: FMZRMU

УДК 624.21

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH ARTICLE

Теоретические предпосылки разработки программы оценки возможности пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостам

Е.А. Луговцев¹  , К.Н. Уталиев¹ , К.А. Чутков² 

¹Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Москва, Российская Федерация

²Новосибирское высшее военное командное ордена Жукова училище, Новосибирск, Российская Федерация

✉ Lugovea@mail.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 4 сентября 2022 г.

Доработана: 20 октября 2022 г.

Принята к публикации: 28 октября 2022 г.

Для цитирования

Луговцев Е.А., Уталиев К.Н., Чутков К.А. Теоретические предпосылки разработки программы оценки возможности пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостам // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19. № 1. С. 35–45. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-1-35-45>

Аннотация. Рассматриваются теоретические предпосылки для создания программного обеспечения для оперативного (на месте испытаний) экспериментального определения возможности безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостам с учетом их фактического эксплуатационного состояния с экспериментальными подтверждениями. Раскрыты особенности, условия применения, положительные стороны разрабатываемого программного обеспечения. Создание программного обеспечения обусловлено, с одной стороны, необходимостью обеспечения безопасности водителя транспортного средства и мостового сооружения, а с другой стороны – оценки грузоподъемности пролетных строений автодорожных мостов по параметрам их напряженно-деформированного состояния для обеспечения гарантированного безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств. Разработанное программное обеспечение для оперативного определения возможности безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостовым сооружениям с учетом их фактического эксплуатационного состояния реализовано с использованием персонального компьютера. Оно обеспечивает оценку возможности пропуска тяжеловесных транспортных средств с любыми по длине пролетами разрезных и неразрезных систем с учетом их фактического эксплуатационного состояния, позволяя при этом безопасно использовать любую подвижную нагрузку в виде эталонной. Представленное программное обеспечение будет использовано в составе модернизированной системы экспресс-оценки грузоподъемности автодорожных мостов, разрабатываемой на основе системы измерений СИ-ППМ с добавлением технических устройств, повышающих возможность оперативной оценки грузоподъемности автодорожных мостов.

Ключевые слова: пролетное строение, прогиб, опорное сечение, эталонная нагрузка, невыгодное положение, изгибающий момент, напряжение, грузоподъемность, программное обеспечение

Луговцев Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры инженерного обеспечения, Военный институт (инженерных войск), Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Российская Федерация, 119121, Москва, пр-д Девичьего поля, д. 4; ORCID: 0000-0003-0133-1269, eLIBRARY SPIN-код: 8843-6213; Lugovea@mail.ru

Уталиев Карим Николаевич, адъюнкт, Военный институт (инженерных войск), Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Российская Федерация, 119121, Москва, пр-д Девичьего поля, д. 4; ORCID: 0009-0008-8512-792X, eLIBRARY SPIN-код: 2623-9491; utalievkarim@gmail.com

Чутков Константин Александрович, кандидат технических наук, начальник кафедры эксплуатации и ремонта вооружения и военной техники, Новосибирское высшее военное командное ордена Жукова училище, Российская Федерация, 630117, Новосибирск, мкр-н Академгородок, ул. Иванова, д. 49; ORCID: 0009-0004-2071-186X, eLIBRARY SPIN-код: 7809-9660; kchutkov@yandex.ru

© Луговцев Е.А., Уталиев К.Н., Чутков К.А., 2023

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




Theoretical basis for the development of a program for the evaluation of road bridge heavy vehicles capacity

Evgeny A. Lugovtsev¹  , Karim N. Utaliev¹ , Konstantin A. Chutkov² 

¹Military Training and Research Center of the Ground Forces “Combined Arms Order of Zhukov Academy of the Armed Forces of the Russian Federation”, Moscow, Russian Federation

²Novosibirsk Higher Military Command School of the Order of Zhukov, Novosibirsk, Russian Federation

 Lugovea@mail.ru

Article history

Received: September 4, 2022

Revised: October 20, 2022

Accepted: October 28, 2022

For citation

Lugovtsev E.A., Utaliev K.N., Chutkov K.A. Theoretical basis for the development of a program for the evaluation of road bridge heavy vehicles capacity. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2023;19(1):35–45. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-1-35-45>

Abstract. The authors present theoretical basis for creating software for operational (on-site testing) experimental determination of the possibility of safe passage of heavy vehicles on road bridges, taking into account their actual operational condition with experimental confirmations. The features, conditions of use, and benefits of the software under development are expanded upon. The creation of the software is driven, on the one hand, by the need to ensure the safety of the driver and the bridge structure, and on the other hand, the need to assess the load capacity of the superstructures of road bridges according to the parameters of their stress-strain state to ensure guaranteed safe passage of heavy vehicles. The developed software for the operational determination of the possibility of safe passage of heavy vehicles on road bridge structures, with the consideration of their actual operational condition, is implemented using a personal computer. The software provides an assessment of the possibility of heavy vehicle passage through split and non-split systems of any length, considering the actual operational condition of the systems, while allowing to safely use any mobile load as a point of reference. The introduced software will be used as part of an upgraded system for rapid assessment of the load capacity of road bridges, developed on the basis of the SI-PPM measurement system with the addition of technical devices that increase the possibility of operational assessment of the load capacity of road bridges.

Keywords: superstructure, deflection, support section, reference load, disadvantage, bending moment, tension, load capacity, software

Введение

В практике эксплуатации автомобильных дорог РФ периодически возникают сложные актуальные задачи оценки возможности пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостам [1–4]. Выполнением этой задачи занимаются специализированные организации, имеющие в своем штате высококвалифицированных специалистов, современное программное обеспечение и оборудование для проведения обследований и испытаний мостов.

Вопросу оценки технического состояния пролетных строений автодорожных мостов при пропуске по ним тяжеловесных транспортных средств посвящен ряд работ [5–12], в которых определение грузоподъемности автодорожного моста проводится с использованием различных методов.

В целях достижения оперативности определения возможности безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостам с учетом их фактического эксплуатационного состояния за основу создания программного обеспечения взят разработанный одним из авторов экспериментально-аналитический метод расчета усилий [13], который был реализован в результате совместной работы

Evgeny A. Lugovtsev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Engineering Support, Military Institute (Engineering Troops), Military Training and Research Center of the Ground Forces “Combined Arms Order of Zhukov Academy of the Armed Forces of the Russian Federation”, 4 Proezd Devichego Polya, Moscow, 119121, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0133-1269, eLIBRARY SPIN-code: 8843-6213; Lugovea@mail.ru.

Karim N. Utaliev, Adjunct, Military Institute (Engineering Troops), Military Training and Research Center of the Ground Forces “Combined Arms Order of Zhukov Academy of the Armed Forces of the Russian Federation”, 4 Proezd Devichego Polya, Moscow, 119121, Russian Federation; ORCID: 0009-0008-8512-792X, eLIBRARY SPIN-code: 2623-9491; utalievkarim@gmail.com

Konstantin A. Chutkov, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Operation and Repair of Weapons and Military Equipment, Novosibirsk Higher Military Command School of the Order of Zhukov, 49 Ivanova St, Akademgorodok microdistrict, Novosibirsk, 630117, Russian Federation; ORCID: 0009-0004-2071-186X, eLIBRARY SPIN-code: 7809-9660; kchutkov@yandex.ru

авторов в программу «Аналитическая модель определения параметров напряженно-деформированного состояния в пролетных строениях автодорожных мостов от сверхнормативных нагрузок РВСН»¹.

Проведено уточнение разработанной программы относительно:

- определения невыгодного положения эталонной нагрузки на пролетном строении;
- расчета изгибающего момента от эталонной нагрузки;
- корректировки прогиба в середине пролетного строения от эталонной нагрузки, определяемого экспериментально, с использованием коэффициента угла поворота и учитывая влияние системы балочного моста.

Создание ПО для оперативного определения возможности безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств обусловлено, с одной стороны, необходимостью обеспечения безопасности водителя транспортного средства и мостового сооружения, а с другой стороны – потребностью оценки грузоподъемности пролетных строений автодорожных мостов по параметрам их напряженно-деформированного состояния для гарантированного безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств.

Теоретические исследования

1. Предварительно заметим, что в [14] определены алгоритмы расчета невыгодного положения нагрузки, при котором получаемый экспериментальным путем прогиб от нее будет максимален, путем приведения эталонной нагрузки к равномерно-распределенной, и расчета удаления равнодействующей эталонной нагрузки от первой его оси; изгибающий момент вычисляется через определение площади линии влияния изгибающего момента эталонной нагрузки.

Применение данного подхода к определению невыгодного положения и, соответственно, изгибающего момента в некоторых случаях не совсем корректно, так как он служит для их быстрого нахождения и значения получаются приближенными.

Авторами предлагается определение более точного невыгодного положения эталонной нагрузки и расчета изгибающего момента от нее с использованием линии влияния (рис. 1), который проводится в два этапа.

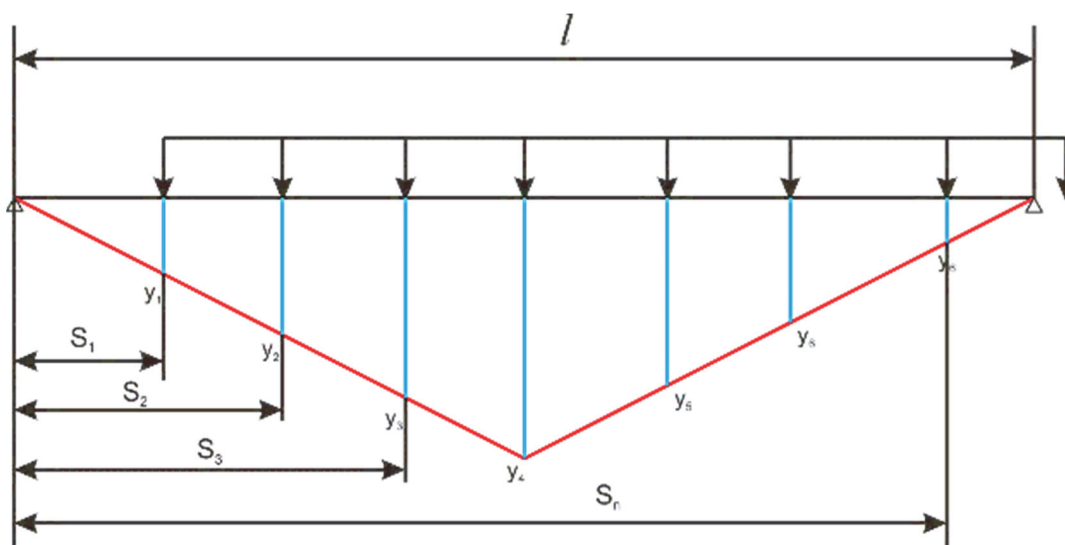


Рис. 1. Построение линии влияния с ординатами осей нагрузок
Figure 1. Construction of the influence line with the coordinates of the load axes

На первом этапе определяются ординаты осей эталонной нагрузки на линии влияния в каждой точке пролета с заданным шагом расчета:

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614890. Аналитическая модель определения параметров напряженно-деформированного состояния в пролетных строениях автодорожных мостов от сверхнормативных нагрузок РВСН / Луговцев Е.А., Шевчук А.Б., Герасименя В.П., Уталиев К.Н., Непомнящих А.В.; заявитель и правообладатель ФГКБОУВО «ВУНЦ СВ «ОБА ВС РФ»; заявл. 21.03.2022; опублик. 28.03.2022.

$$Y_i = 0,01abs \left(\frac{abs(S_i - 0,5l)}{2} \frac{l}{4} \right), \quad (1)$$

где Y_i – ордината i -й оси эталонной нагрузки; S_i – расстояние от исходной опоры до i -й оси эталонной нагрузки; l – длина пролета.

На втором этапе определяется изгибающий момент от эталонной нагрузки при каждом изменении ее положения в соответствии с заданным шагом расчета и выбирается положение, при котором изгибающий момент от эталонной нагрузки будет максимальным:

$$M_{\max} = \sum_{i=1}^n Y_i P_i \rightarrow \max, \quad (2)$$

где P_i – нагрузка на i -ю ось эталонной нагрузки.

Выбранное положение эталонной нагрузки и будет являться невыгодным, при котором изгибающий момент, а соответственно и прогиб пролетного строения от эталонной нагрузки, будет максимальным.

Для реализации указанного способа определения невыгодного положения и расчета при этом изгибающего момента от эталонной нагрузки разработана и опубликована программа для быстрого его использования (рис. 2)².

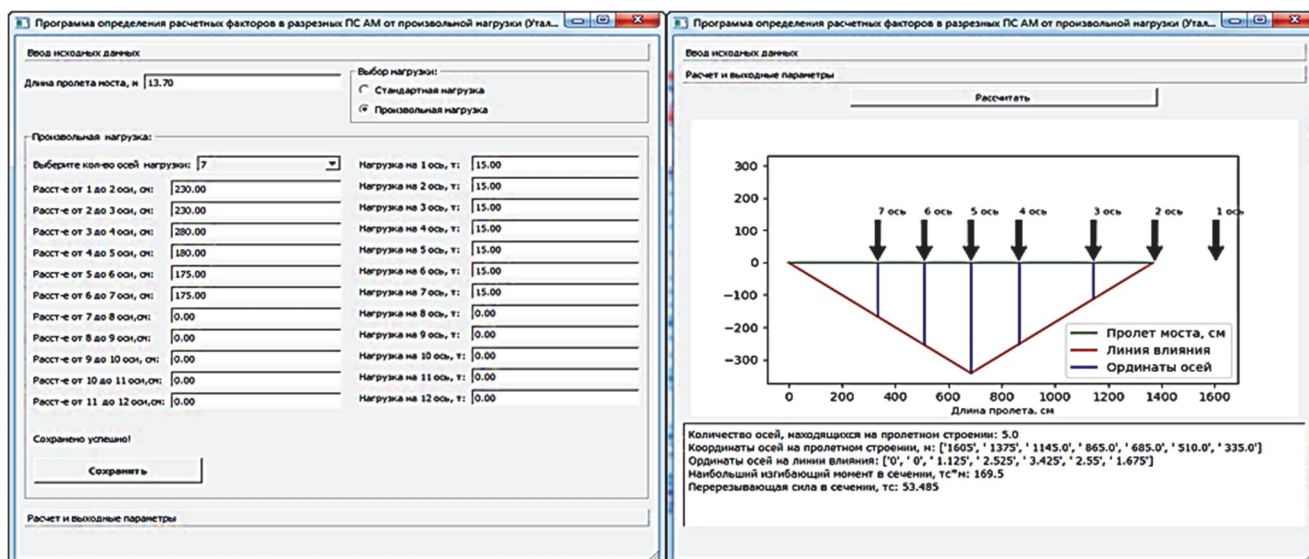


Рис. 2. Интерфейс программы
Figure 2. Program interface

Для подтверждения достоверности результатов расчета указанной программой проведен модельный эксперимент в программно-расчетном комплексе Midas Civil 2022 (сертификат соответствия RA.KR.AB86.H01197), основанном на методе конечных элементов с использованием пространственной модели пролетного строения аналогичной длины, которая представлена в виде совокупности стержневых элементов, имеющих общие точки – узлы (рис. 3).

Модель пролетного строения загружалась аналогичной эталонной нагрузкой.

В результате проведенных расчетов определено, что изгибающий момент от эталонной нагрузки, полученный в программно-расчетном комплексе Midas Civil 2022 (рис. 4), соответствует результатам расчета изгибающего момента разработанной программой, сходимость значений составила 91 %.

² Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022669763. Программа определения расчетных факторов в разрезных пролетных строениях автодорожных мостов от произвольной подвижной нагрузки / Уталиев К.Н.; заявитель и правообладатель ФГКВБОУВО «ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ»; заявл. 14.10.2022; опубл. 25.10.2022.

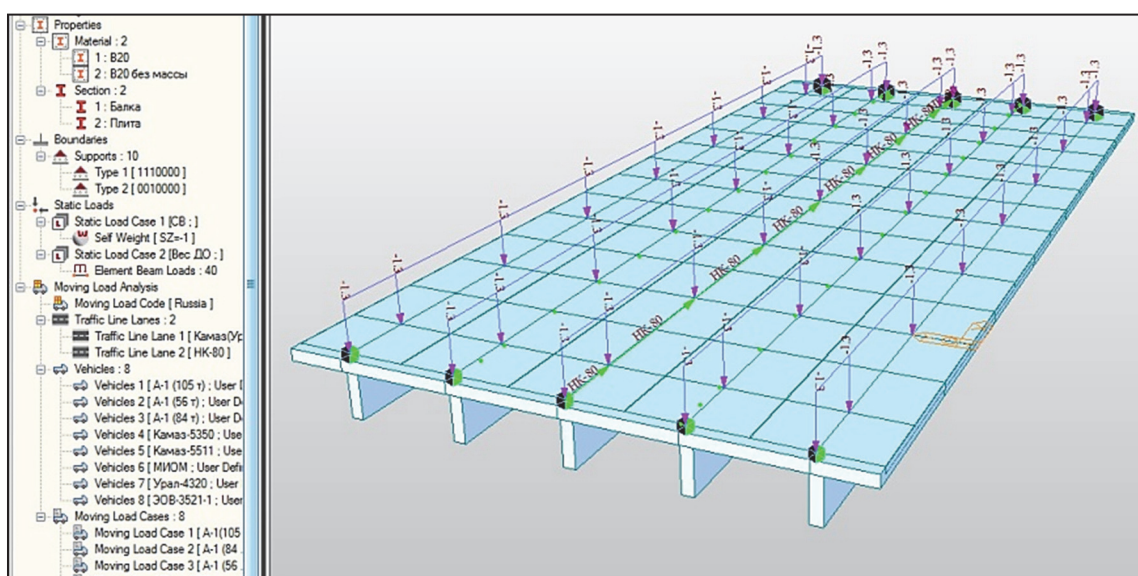


Рис. 3. Пространственная модель пролетного строения
Figure 3. Spatial model of the superstructure

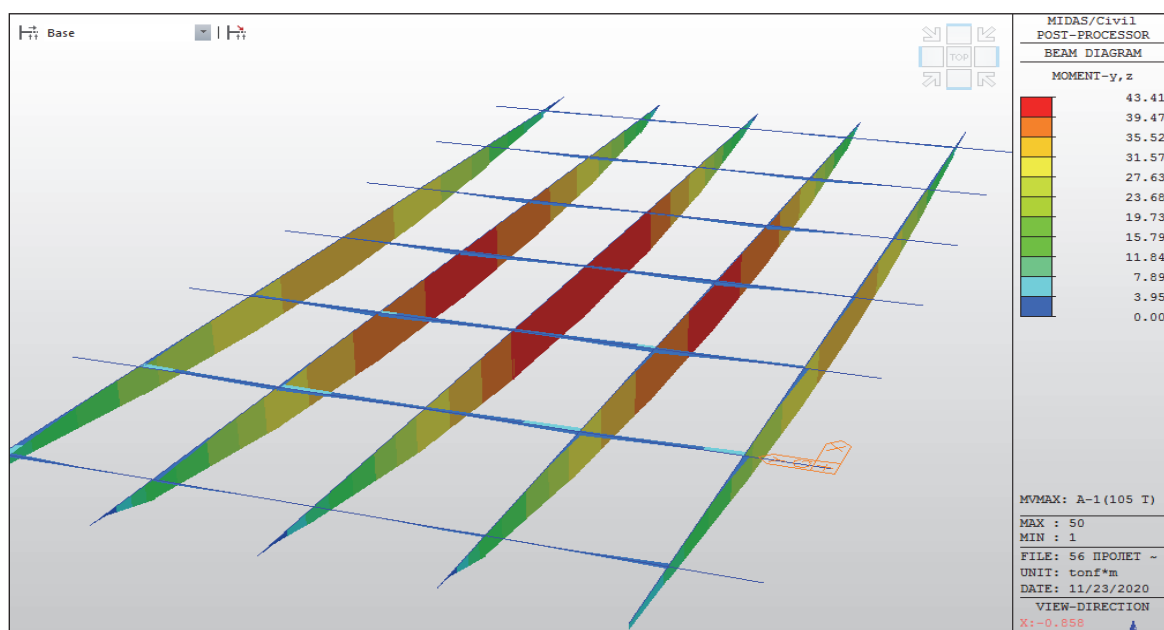


Рис. 4. Результаты расчета изгибающего момента в ППК Midas Civil
Figure 4. Results of the bending moment calculation in the Midas Civil

2. Прогиб f в середине пролетного строения, рассчитываемый с использованием его строгой зависимости от величины пролетов l и тангенса угла наклона исходных опорных сечений от воздействия пропускаемых нагрузок, разработанной одним из авторов в [10], предлагается определять с учетом коэффициента угла поворота δ

$$f_{\max} = \frac{l}{\pi} \cdot \frac{\tan \theta}{\delta}, \quad (3)$$

где f – прогиб пролетного строения в середине пролета, м; θ – угол наклона опорного сечения от пропускаемого транспортного средства; l – длина пролетного строения моста, м; δ – коэффициент угла поворота.

Его численное значение получено путем сопоставления эпюр углов поворота разрезных пролетов с соответствующими эпюрами углов поворота в неразрезных многопролетных строениях при их шарнирном опирании на опоры без защемления на них в программно-расчетном комплексе ЭСПРИ от LIRA GROUP³.

Сопоставим эпюры углов поворота в краях пролета для разрезного пролетного строения с пролетами 24, 33, 42 м и неразрезного в краях первого (крайнего) и второго (среднего) пролетов с соответствующими пролетами (рис. 5).

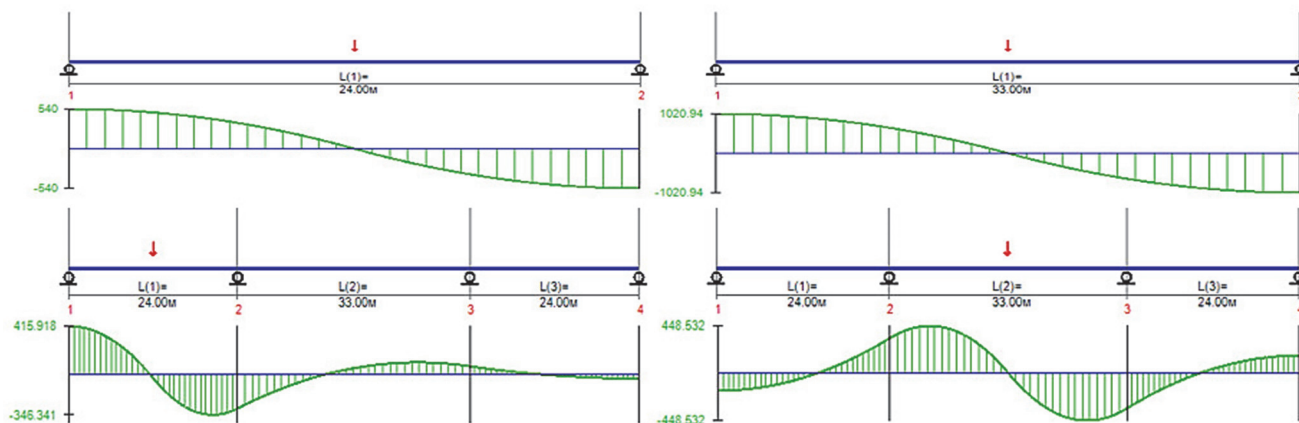


Рис. 5. Эпюры углов поворота в разрезных и неразрезных пролетных строениях
Figure 5. Plots of rotation angles in split and continuous superstructures

Результаты сравнения эпюр углов поворота в краях пролета позволили получить численные значения коэффициента угла поворота (таблица).

Значения максимальных ординат углов поворота и коэффициента угла поворота

Исследуемый фактор (схема моста)	Пролет, м	Ордината эпюры углов поворота														
		Разрезное пролетное строение	Неразрезные пролетные строения													
			3 пролета				4 пролета				5 пролетов					
			1-й		2-й		1-й		2-й		1-й		2-й		3-й	
Лев- вый край	Прав- ый край	Лев- ый край	Прав- ый край	Лев- ый край	Прав- ый край	Лев- ый край	Прав- ый край	Лев- ый край	Прав- ый край	Лев- ый край	Прав- ый край	Лев- ый край	Прав- ый край			
Ордината угла поворота, Рад (24 + 33 ... + 24)	24	540	415	291			416	293			416	293				
	33	1020			333	333			340	362			341	364	370	370
Коэффициент угла поворота δ (24 + 33 ... + 24)	24	1	0,77	0,54	0,33	0,33	0,77	0,54	0,33	0,35	0,77	0,54	0,33	0,36	0,36	0,36
	33	1653			568	568			575	595			575	597	602	602
Ордината угла поворота, Рад (24 + 33 ... + 24)	24	1020	777	533			778	535			778	535				
	33	1653			568	568			575	595			575	597	602	602
Коэффициент угла поворота δ (24 + 33 ... + 24)	24	1	0,76	0,52	0,34	0,34	0,76	0,52	0,35	0,36	0,76	0,52	0,35	0,36	0,36	0,36
	33	1653			568	568			575	595			575	597	602	602

³ ЭСПРИ. Электронный справочник инженера: учебное пособие. URL: <http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=60> (дата обращения: 25.10.2022).

Values of the maximum ordinates of the rotation angles and the rotation angle coefficient

The factor under study (bridge diagram)	Span, m	Ordinate of the plot of the rotation angles														
		Split super- structure	Continuous superstructures													
			3 spans				4 spans				5 spans					
			First		Second		First		Second		First		Second		Third	
Left edge	Right edge	Left edge	Right edge	Left edge	Right edge	Left edge	Right edge	Left edge	Right edge	Left edge	Right edge	Left edge	Right edge	Left edge	Right edge	
Ordinate of the angle of rotation, Rad (24 + 33 ... + 24)	24	540	415	291			416	293			416	293				
	33	1020			333	333			340	362			341	364	370	370
Rotation angle coefficient δ (24 + 33 ... + 24)	24	1	0,77	0,54	0,33	0,33	0,77	0,54	0,33	0,35	0,77	0,54	0,33	0,36	0,36	0,36
Ordinate of the angle of rotation, Rad (24 + 33 ... + 24)	24	1020	777	533			778	535			778	535				
	33	1653			568	568			575	595			575	597	602	602
Rotation angle coefficient δ (24 + 33 ... + 24)	24	1	0,76	0,52	0,34	0,34	0,76	0,52	0,35	0,36	0,76	0,52	0,35	0,36	0,36	0,36

Таким образом, значение коэффициента угла поворота δ с погрешностью не более 9 % принимаем:

- для разрезных пролетных строений – 1;
- для левого края неразрезных пролетных строений на одной опоре (первый и последний пролет) – 0,77;
- для правого края неразрезных пролетных строений на одной опоре (первый и последний пролет) – 0,54;
- для неразрезных пролетных строений на двух опорах – 0,36.

Разработанное программное обеспечение будет использовано в составе модернизированной системы экспресс-оценки грузоподъемности автодорожных мостов, разрабатываемой на основе системы измерений СИ-ППМ [15] с добавлением технических устройств, повышающих возможность оперативной оценки грузоподъемности автодорожных мостов.

Экспериментальные подтверждения теоретических исследований

Для подтверждения достоверности получаемого прогиба в середине пролетного строения от угла наклона исходного опорного сечения с учетом полученного коэффициента проведен эксперимент на неразрезном металлическом автодорожном путепроводе через МЖД на км. 8 + 783 на обходе Калуги (участок Анненки – Жерело) со схемой моста: 62 + 69 + 69 + 52 + 50 (рис. 6).

Каждое пролетное строение загружалось испытательной нагрузкой, представляющей собой колонну четырехосных груженых автомобильных самосвалов фирм Scania P8X400 и Volvo FM-TRUCK 8x4 по 45 т каждый (рис. 7).



Рис. 6. Путепровод через МЖД на км. 8 + 783 на обходе Калуги (фото Е.А. Луговцева)

Figure 6. Overpass through the Moscow Railway at km. 8 + 783 on the bypass of Kaluga (photo by E.A. Lugovtsev)

Угол наклона опорного сечения пролетного строения измерялся с использованием инклинометра ИН-ДЗ 720 (рис. 8).

Прогиб в середине пролетного строения измерялся с использованием прогибомеров ПСК-МГ4, установленных в подмостовом пространстве (рис. 9).



Рис. 7. Испытательная нагрузка (фото Е.А. Луговцева)
Figure 7. Test load (photo by E.A. Lugovtsev)



Рис. 8. Инклинометр ИН-ДЗ 720 с программным обеспечением (фото К.Н. Уталиева)
Figure 8. Inclinometer IN-D3 720 with software (photo by K.N. Utaliev)



Рис. 9. Прогибомеры ПСК-МГ4 (фото Е.А. Луговцева)
Figure 9. Deflection meters of PSK-MG4 (photo by E.A. Lugovtsev)

В результате проведенного натурального эксперимента установлено, что прогиб в середине неразрезных пролетных строений, полученный через угол наклона исходного опорного сечения, с учетом коэффициента угла поворота соответствует прогибу в середине пролетного строения, измеренного с использованием прогибомеров ПСК-МГ4, сходимость значений составила 92 %.

Представленные теоретические предпосылки позволили провести усовершенствование программы⁴, заключающееся в том, что измерение углов поворота опорного сечения и последующий расчет жесткости пролетного строения с учетом его фактического эксплуатационного состояния, производится принимая во внимание коэффициент угла поворота и выполняется только один раз при установке эталонной нагрузки в самое невыгодное положение, определяемое автоматически с помощью программы.

При этом путем сопоставления полученного прогиба в середине пролетного строения, изгибающих моментов от эталонной нагрузки и реального тяжеловесного транспортного средства рассчитывается прогиб, а также максимальные значения изгибающего момента и поперечной силы от собственного веса пролетного строения.

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

Расчетные сопротивления материала пролетного строения определяются по СП 35.13330.2011⁵. Допустимые значения поперечной силы для железобетонных пролетных строений определяются по ОДМ 218.4.025–2016⁶.

Если условия прочности хотя бы по одному предельному состоянию не выполняются, то программное обеспечение сообщит о невозможности пропуска тяжеловесного транспортного средства.

Заключение

Разработанное программное обеспечение для оперативного определения возможности безопасного пропуска тяжеловесных транспортных средств по автодорожным мостовым сооружениям с учетом их фактического эксплуатационного состояния реализовано с использованием персонального компьютера.

Программное обеспечение обеспечивает оценку возможности пропуска тяжеловесных транспортных средств с любыми по длине пролетами разрезных и неразрезных систем, но только по условиям прочности пролетных строений автодорожных мостов, с учетом их фактического эксплуатационного состояния, позволяя при этом безопасно использовать любую подвижную нагрузку в виде эталонной.

Список литературы

1. Романов Д.А., Корныльев Е.Н. Особенности пропуска сверхнормативной тяжеловесной нагрузки по автодорожным мостам Северо-Западного региона России // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 4–6 апреля 2018 года. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2018. С. 12–16.
2. Аверченко Г.А., Кирьян И.В. Выбор маршрута и пропуск сверхнормативных нагрузок по автодорожным мостам // StudNet. 2020. Т. 3. № 2. С. 392–401.
3. Белый А.А., Андрушко С.Б. Пути повышения надежности эксплуатации железобетонных мостов для пропуска сверхнормативной нагрузки // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. Т. 15. № 1. С. 17–29.
4. Андрушко С.Б., Золотарев А.В. Теоретические основы обеспечения надежности пропуска сверхнормативной нагрузки по железобетонным мостам // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева. 2017. № 4 (12). С. 110–118.

⁴ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614890. Аналитическая модель определения параметров напряженно-деформированного состояния в пролетных строениях автодорожных мостов от сверхнормативных нагрузок РВСН / Луговцев Е.А., Шевчук А.Б., Герасименя В.П., Уталиев К.Н., Непомнящих А.В.; заявитель и правообладатель ФГКВООУВО «ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ»; заявл. 21.03.2022; опубл. 28.03.2022.

⁵ СП35.13330.2011. Мосты и трубы Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011. 341 с.

⁶ ОДМ 218.4.025–2016. Рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Общая часть. М.: РОСАВТОДОР, 2016. 102 с.

5. Дормидонтова Т.В., Варданыан Т.М. Оценка технического состояния мостовых сооружений // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Самара: СГТУ, 2018. С. 199–203.
6. Курлянд В.Г., Курлянд В.В. Грузоподъемность железобетонных сборных пролетных строений автодорожных мостов с ненапрягаемой арматурой // Транспортное строительство. 2021. № 4. С. 25–29.
7. Нигаматова О.И., Смердов Д.Н. К вопросу оценки технического состояния автодорожных мостовых сооружений // Инновационный транспорт. 2021. № 4 (10). С. 31–36.
8. Нигметов Г.М., Акатьев В.А., Нигметов Т.Г. Диагностика и мониторинг технического состояния и грузоподъемности мостов с применением метода динамико-геофизических испытаний // Российские и зарубежные технологии проектирования и строительства мостовых сооружений: сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. М.: Международная ассоциация фундаментостроителей, 2021. С. 145–147.
9. 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://doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-5-13>
10. 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.
11. Kang J., Chen B. Comprehensive technical condition evaluation of bridge based on Grey fuzzy theory. Shandong: Yantai University. 2010. Vol. 1. Pp. 200–204.
12. Lee Y.J., Song J., Lim H.W., Cardoni P. Post-hazard flow capacity of bridge transportation network considering structural deterioration of bridges // Structure & Infrastructure Engineering: Maintenance, Life-cycle Design & Performance. 2011. Vol. 1. No. 7–8. Pp. 509–521.
13. 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.
14. 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://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-4-315-323>
15. 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. 1–13. <http://doi.org/10.15862/19SATS319>

References

1. Romanov D.A., Kornyliev E.N. Features of the passage of excess heavy load on road bridges of the North-Western region of Russia. *Actual Problems of Road Safety: Materials of the 71st All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, St. Petersburg, April 4–6, 2018*. St. Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2018. p. 12–16. (In Russ.)
2. Averchenko G.A., Kiryan I.V. Choosing a route and skipping excess loads on road bridges. *StudNet*. 2020;3(2): 392–401. (In Russ.)
3. Bely A.A., Andrushko S.B. Reliability increase techniques of operating reinforced concrete bridges for excessive loading transfer. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2018;15(1):17–29. (In Russ.)
4. Andrushko S.B., Zolotarev A.V. Theoretical foundations of ensuring the reliability of passing excess load on reinforced concrete bridges. *Bulletin of the Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev*. 2017;(4):110–118. (In Russ.)
5. Dormidontova T.V., Vardanyan T.M. Assessment of the technical condition of bridge structures. *Tradicii i Innovacii v Stroitel'stve i Arhitekture. Stroitel'stvo*. Samara; 2018. p. 199–203. (In Russ.)
6. Kurland V.G., Kurland V.V. Load capacity of reinforced concrete prefabricated superstructures of road bridges with non-stressed reinforcement. *Transport Construction*. 2021;(4):25–29. (In Russ.)
7. Nigmatova O.I., Smerdov D.N. On evaluation of the technical state of highway bridge structures. *Innovative Transport*. 2021;(4):31–36. (In Russ.)
8. Nigmatov G.M., Akatiev V.A., Nigmatov T.G. Diagnostics and monitoring of the technical condition and load capacity of bridges using the method of dynamic and geophysical tests. *Russian and Foreign Technologies for the Design and Construction of Bridge Structures: Collection of Reports of the IV International Scientific and Practical Conference*. Moscow: International Association of Foundation Builders; 2021. p. 145–147. (In Russ.)

9. 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 superstructures of road bridges. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020;16(1):5–12. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-5-13>
10. 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 Industry*. 2020;(3):28–31. (In Russ.)
11. Kang J., Chen B. *Comprehensive technical condition evaluation of bridge based on Grey fuzzy theory* (vol. 1, p. 200–204). Shandong: Yantai University; 2010.
12. Lee Y.J. Post-hazard flow capacity of bridge transportation network considering structural deterioration of bridges. *Structure & Infrastructure Engineering: Maintenance, Life-cycle Design & Performance*. 2011;1(7–8):509–521.
13. 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;(7–8):63–69. (In Russ.)
14. Lugovtsev E.A. Justification for the development and application of express assessment programs for road bridges when heavy vehicles pass through them. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Building*. 2021;17(4):315–323. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-4-315-323>
15. Lugovtsev E.A., Erofeev M.N. Experience of using the measuring complex “Measurement system for checking permanent bridges” to determine the possibility of passing superheavy loads. *Transport Facilities*. 2019;6(3):1–13. (In Russ.) <http://doi.org/10.15862/19SAT319>