

О.В. Костюкович, В.Г. Пастушков

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

Эффективная инфраструктура любой страны жизненно важна для ее экономики, а также для равномерного развития регионов. Долговечные, надежные мосты – ее неотъемлемая часть.

В связи с глобальными темпами индустриализации и автоматизации проектирование зданий и сооружений все больше опирается на возможность повышения эффективности и скорости строительства наряду со снижением затрат. Одним из аспектов решения данной задачи является внедрение новых конструктивных решений для облегчения крупномасштабных элементов строительных конструкций и снижения трудоемкости. Древесина – один из легких, распространенных, возобновляемых, а также податливых материалов для совершенствования в области строительства, в частности мостовых сооружений. Для оптимизации проектирования важно исследовать уже существующие и находящиеся в эксплуатации сооружения для понимания общей картины фактической работы элементов конструкций.

В качестве метода исследования был выбран экспериментальный. Объект исследования – натурные испытания строительных конструкций деревянного моста, расположенного на р. Ствига. Совместно с УП «Стройреконструкция» и ООО «SciBIM» были разработаны программа и методика испытания деревянных пролетных строений автомобильного моста, в том числе определение напряженно-деформированного состояния несущих прогонов пролетного строения.

Непрерывное наблюдение за напряженно-деформированным состоянием конструкций выполнялось при помощи инновационной автоматизированной системы мониторинга SciGauge. Были проанализированы и описаны численные и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния балочного разрезного пролетного строения со сближенными (разбросными) одноярусными прогонами.

Данный метод исследований позволяет более детально оценить работу конструкций под испытательной нагрузкой, тем самым позволяя сделать более точный вывод о дальнейшей эксплуатации сооружения. С точки зрения автоматизированного производства и возможности повышения уровня цифровизации строительной отрасли реализация подобных методов исследований будет способствовать созданию целостной структуры информационного моделирования зданий и сооружений на всех этапах их жизненного цикла, объединяя ее в общую базу данных.

Ключевые слова: мост, пролетные строения, проезжая часть, опора, подход, грузоподъемность, обследование, дефекты, деревянные конструкции, нагрузка, установка, испытание, расчет, техническое состояние, рекомендации.

V.V. Kostiukovich, V.G. Pastushkov

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

STUDY OF STRESS-STRAIN STATE OF SPAN STRUCTURES OF INDIVIDUAL DESIGN AND MANUFACTURE

An efficient infrastructure of any country is vital for its economy, as well as for the even development of regions. Durable, reliable bridges are an integral part of it.

With the global pace of industrialization and automation, building design increasingly relies on the ability to improve efficiency and speed of construction while reducing costs. One of the points for solving this problem is the introduction of new design solutions to lessen the weight of large-scale elements of building structures and reduce labor intensity. Wood is one of the lightest, most common, renewable, and pliable materials for improvement in the field of construction, in particular in construction of bridges. To optimize the design, it is of no small importance to study the existing and operating structures in order to understand the big picture of the actual operation of structural elements.

Experimental approach was chosen as the research method. The object of the study is field tests of the building structures of a wooden bridge located on the Stwiga River. Together with “Stroyrekonstruktsiya” Unitary Enterprise and SciBIM, LLC, a program and procedure for testing wooden superstructures of an automobile bridge, including the determination of the stress-strain state of the bearing girders of the superstructure, were developed.

Continuous monitoring of the stress-strain state of structures was carried out using the innovative SciGauge automated monitoring system. Numerical and experimental studies of the stress-strain state of a split beam span with close (scattered) single-tier girders were analyzed and described.

This research method allows for a more detailed assessment of the operation of structures under a test load, thereby making it possible to draw a more accurate conclusion about the further operation of the structure. From the point of view of automated production [2] and the possibility of increasing the level of digitalization of the construction industry, the implementation of such research methods will help creating an integral structure of information modeling of buildings and structures at all stages of their life cycle, combining it into a single database.

Keywords: bridge, superstructures, carriageway, support, approach, carrying capacity, inspection, defects, wooden structures, load, installation, testing, calculation, technical condition, recommendations.

Введение

Как показывают многочисленные исследования [1, 2], проблема долговечности зданий и сооружений остро стоит во всем мире. К деревянным конструкциям на сегодняшний день сложилось весьма скептическое отношение и их считают самыми недолговечными. Но данные современной науки и достоверный практический опыт говорят о том, что природная целлюлоза, образующая остов древесинного вещества, относится к высокопрочным и весьма стойким во времени материалам. Дерево как строительный материал обладает рядом замечательных свойств: высокая удельная прочность, малая объемная масса, большой коэффициент теплового сопротивления и малый – термического расширения, легко обрабатывается, обладает высоким архитектурно-художественным потенциалом и является возобновляемым природным ресурсом.

По некоторым данным [3, 4], строительство деревянного моста на треть выгоднее строительства сопоставимых по габаритам стальных или железобетонных мостов. Главным фактором экономии являются оптимизированные конструкторские решения, которые приводят к повышению эксплуатационных характеристик, таких как надежность, долговечность и эстетический вид.

Главным недостатком является нераспространенность выполнения деревянных мостов, что позволило бы выполнить Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22 сентября 1998 г. № 1474 «О порядке финансирования проектов Государственной программы импортозамещения» и строить экологически чистые, экономически целесообразные и обладающие хорошими эстетическими качествами мосты, а также, что немаловажно, использовать национальный природный ресурс.

В настоящее время на территории Республики Беларусь использование древесины в качестве полноценного материала для строительных конструкций весьма ограничено различными нормами и правилами. Так, в соответствии с СН 3.03.01–2019 «Мосты и трубы» на автомобильных дорогах не выше IV категории, а также на лесо- и внутрихозяйственных дорогах допускается проектирование и строительство деревянных мостов, в некоторых случаях только с понижением класса нагрузок. Этот факт препятствует развитию конструкторской мысли в данном направлении. Деревянные мосты строятся по выполненным еще в Советском Союзе типовым проектам и по чертежам военного периода [5]. Пролеты таких мостов в среднем составляют 4,0–6,0 м, что приводит к загромождению русла опорами и к образованию заторов льда в зимний период. Навалы льда, в свою очередь, негативно влияют на долговечность конструкций опор и мостового сооружения в целом.

Искусство строительства мостов из дерева на русской земле было на высочайшем уровне, по некоторым источникам, уже в конце первого тысячелетия [6]. С XII в. мостовая наука развивалась стремительно, в частности деревянное мостостроение: разрабатывались экспериментальные конструктивные решения, совершенствовались технологические процессы строительства, увеличивались длины перекрываемых пролетов [7]. К сожалению, на сегодняшний момент строительство и проектирование деревянных сооружений не получает должного внимания, а следовательно, и развития.

Успешное развитие мостов с деревянными пролетными строениями возможно с использованием современных материалов и методов проектирования. Лишь системный подход позволяет решить поставленную задачу.

Экспериментальное исследование

В результате общего обследования, проведенного в 2019 г., техническое состояние моста по совокупности критериев долговечности и безопасности, а также влияния указанных дефектов и повреждений на грузоподъемность сооружения было охарактеризовано как удовлетворительное [8].

По результатам визуального обследования в 2020 г., выполненного перед натурными испытаниями, все дефекты были устранены в ходе работ по содержанию и текущему ремонту.

Для определения возможности дальнейшей эксплуатации конструкций деревянного моста, выполненных из 2-го и 3-го сорта древесины на временные нагрузки от лесовоза (автомобиль МАЗ-631228-8528-012 в составе с прицепом МАЗ-892620-010), проведены натурные испытания конструкций пролетных строений.

Деревянный мост через р. Ствига был построен в июне 2019 г. силами 36-й дорожно-мостовой бригады воинской части № 44540 транспортных войск Республики Беларусь. Заказчиком инженерного сооружения выступило государственное лесохозяйственное учреждение «Полесский лесхоз». Общая длина сооружения составляет 27,31 м (по подходным поперечным бревнам), общая ширина (по ширине настила из досок) – 5,65 м. Габарит проезжей части составляет Г-4,37 (по колесоотбойным брускам) и 3,28 м (по ширине полос наката), не имеет ограничений по высоте.

Пролетное строение моста запроектировано балочным разрезным со сближенными (разбросными) одноярусными прогонами [9, 10], по схеме (НМ) 4,305 + 3,590 + 3,770 + 4,215 + 3,915 + 4,075 (КМ) м в полных длинах пролетов по оси сооружения. Опоры №№ 1...7 выполнены деревянными односторонними свайного типа. Сваи – по 4 шт. на опору.

Целями проведения испытаний моста являлись [11]:

- определение действительного напряженно-деформированного состояния конструкций деревянного моста при действии испытательных нагрузок;
- определение степени соответствия работы элементов конструкций сооружения расчетным предпосылкам и при необходимости уточнение расчетных моделей;
- оценка возможности дальнейшей эксплуатации конструкций деревянного моста, выполненных из 2-го и 3-го сорта древесины на временные нагрузки от лесовоза (автомобиль МАЗ-631228-8528-012 в составе с прицепом МАЗ-892620-010).

Основными задачами испытаний конструкций моста являются:

- определение теоретических (расчетных) величин усилий и прогибов от проектных и испытательных нагрузок;
- определение фактического напряженно-деформированного состояния основных элементов конструкций подземного перехода, изучение их работы при воздействии статических временных нагрузок и сравнение теоретических данных с результатами, полученными во время испытаний конструкции деревянного моста, расчет конструктивных коэффициентов K ;
- определение возможности пропуска расчетной нагрузки, приведенной в письме заказчика № 617 от 20 августа 2019 г., по сооружению с учетом его фактического технического состояния.

В качестве испытательной нагрузки предусматривалось использование груженого автомобиля МАЗ-631228-8528-012 в составе с прицепом МАЗ-892620-010 или его аналогов. Фактически заказчиком был предоставлен груженный цельной древесиной автомобиль МАЗ-631228-8528-012 в составе с прицепом МАЗ-892620-010 общим весом 55,6 т.

Оценка теоретических упругих прогибов, изгибающих моментов и поперечных сил от испытательной нагрузки выполнялась с использованием интегрированного программного комплекса SOFiSTiK (разработчик SOFiSTiK AG, Германия), основанного на методе конечных элементов, в соответствии с действующими нормативными документами и методиками расчетов [12].

Расчетная модель моста (рис. 1) включает в себя только основные несущие элементы – прогоны пролетных строений П-1...П-10, элементы опор.

Таким образом, ожидаемые максимальные изгибающие моменты прогонов пролетного строения L_{1-2} составляют 26,7 кН·м, а ожидаемые максимальные прогибы прогонов пролетного строения – 28,77 мм при загрузке № 12 (рис. 2).

Согласно выполненным расчетам, на основании эпюр моментов от испытательной нагрузки [13, 14], максимальные напряжения в прогонах пролетного строения L_{1-2} – 11,59 МПа.

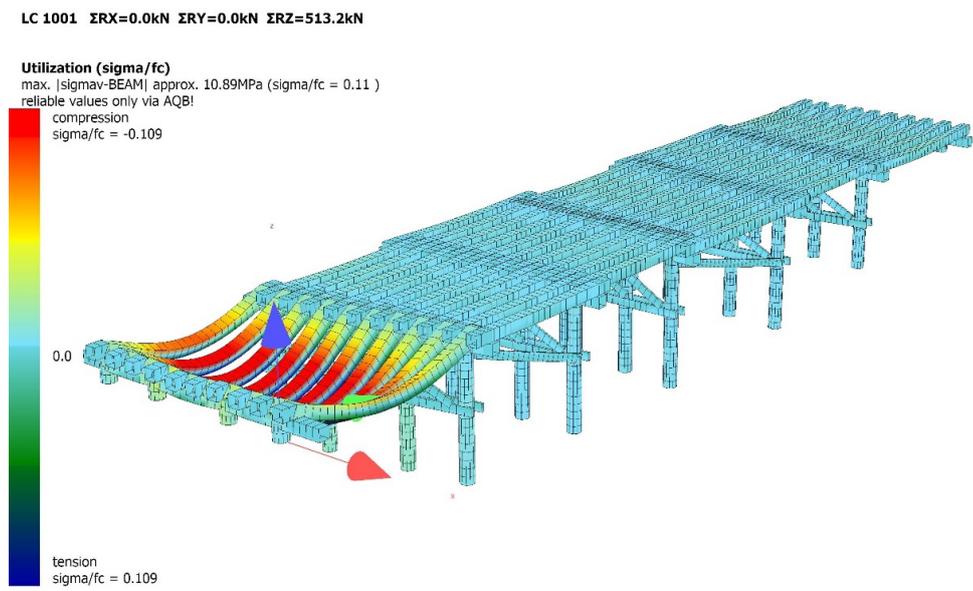


Рис. 1. Деформированная объемная 3D-модель деревянного моста

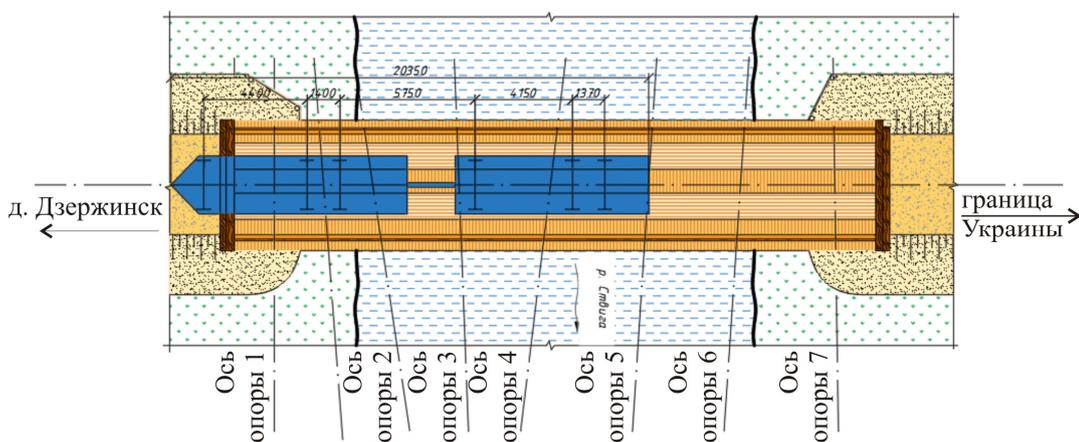


Рис. 2. Схема загрузки № 12

Измерение вертикальных перемещений осуществлялось при помощи прогибомеров Максимова с ценой деления 0,1 мм и Аистова с ценой деления 0,01 мм.

Для измерения продольного и поперечного наклона в конструкциях сооружений были установлены «двухосевые инклинометры» BI SciGauge с точностью измерений $\pm 0,1^\circ$.

Фактические (экспериментальные) величины прогибов прогонов П-1...П-10 в середине пролета L_{1-2} при загрузениях испытательной нагрузкой по схемам №№ 11...14 приведены на рис. 3.

При проведении статических испытаний деревянного моста [15] максимальные прогибы прогонов пролетных строений составили для пролетного строения L_{1-2} – в прогоне П-8 – 19,55 мм.

По результатам статических испытаний значения коэффициента K (соответствие упругих прогибов, при воздействии испытательной нагрузки, значениям, найденным расчетным путем) для пролетного строения L_{1-2} составляют 0,00–0,99, что свидетельствует о работе пролетного строения в высокой степени соответствия теоретическим расчетным предпосылкам. Низкие значения коэффициента K в крайних прогонах указывают на наличие в данных элементах резервов несущей способности.

Показатель работы конструкции α , выраженный в соотношении измеренных упругих и остаточных прогибов, для пролетного строения L_{1-2} составляет 0,00–0,30 и не превышает предельно допустимых значений.

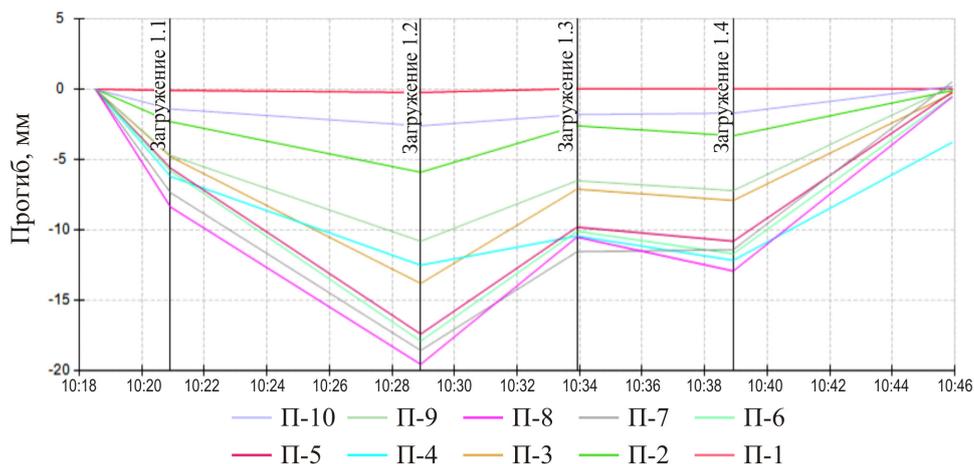


Рис. 3. График изменения фактических прогибов пролетного строения L_{1-2} во время проведения работ по испытанию сооружения, мм

Определение прочности деревянных балок изгибу и деформациям является основных показателем эффективности при эксплуатации исследуемых конструкционных материалов. Эпюры изгибающих моментов и напряжений показывают, что элементы конструкции из древесины работают одновременно как на растяжение, так и на изгиб. Это означает, что максимальными напряжениями являются напряжения растяжения, которые возникают в нижнем поясе балки [4].

Для измерения напряжений, возникающих в прогонах, насадках и стойках сооружения, были установлены струнные накладные тензометры SVW SciGauge с точностью измерений $\pm 1,0$ микрострейн.

Фактические величины напряжений в главных прогонах П-1...П-10 пролетного строения L_{1-2} при загрузках испытательной нагрузкой по схемам №№ 11...14 приведены на рис. 4–6.

При проведении статических испытаний автодорожного деревянного моста максимальные напряжения для пролетного строения L_{1-2} составили 8,45 МПа в прогоне П-6 при загрузке 12.

По результатам статических испытаний значения коэффициента K (соответствие напряжений при воздействии испытательной нагрузки значениям, найденным расчетным путем) для прогонов пролетных строений L_{1-2} составляют 0,00–0,98, что свидетельствует о работе пролетного строения в высокой степени соответствия теоретическим расчетным предпосылкам.

Показатель работы конструкции α , выраженный в соотношении измеренных и остаточных напряжений, составляет 0,000–0,297 и представлен в таблице.

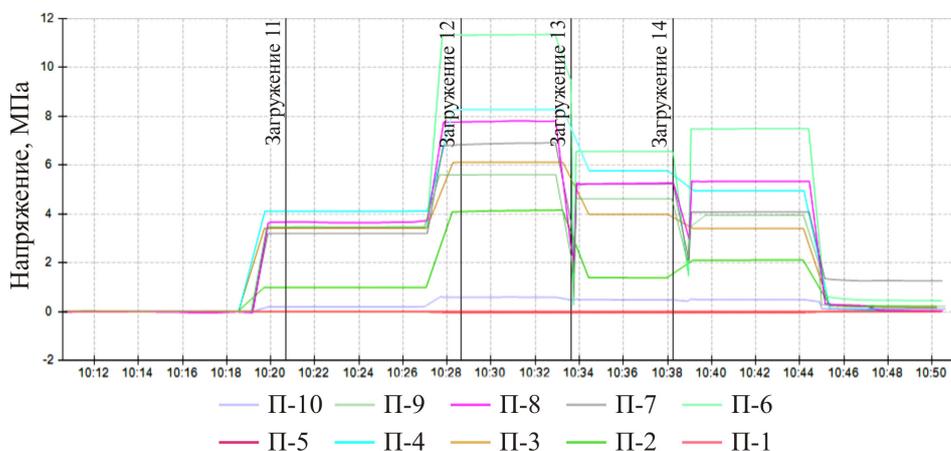


Рис. 4. График изменения напряжений по показаниям тензометров, установленных на нижних гранях прогонов П-1...П-10 пролетного строения L_{1-2} во время проведения работ по испытанию сооружения, МПа

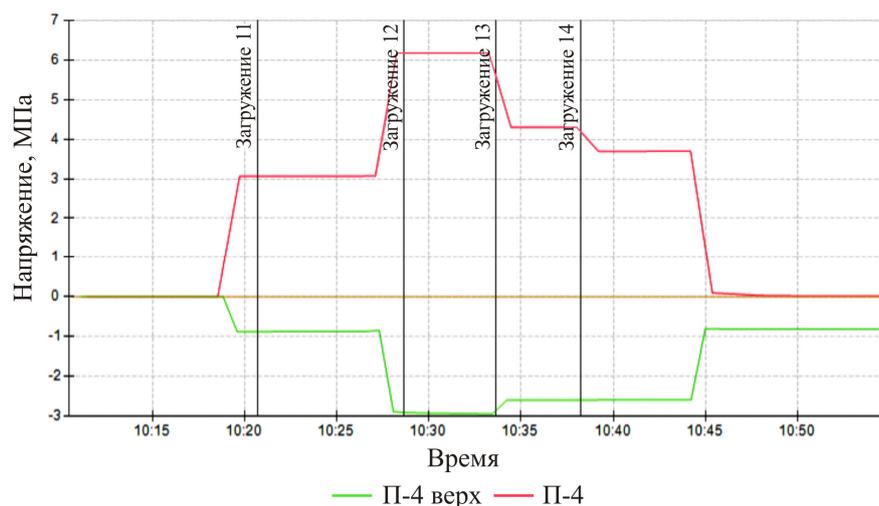


Рис. 5. График изменения напряжений по показаниям тензометров, установленных на нижней и верхней гранях прогона П-4 пролетного строения L_{1-2} во время проведения работ по испытанию сооружения, МПа

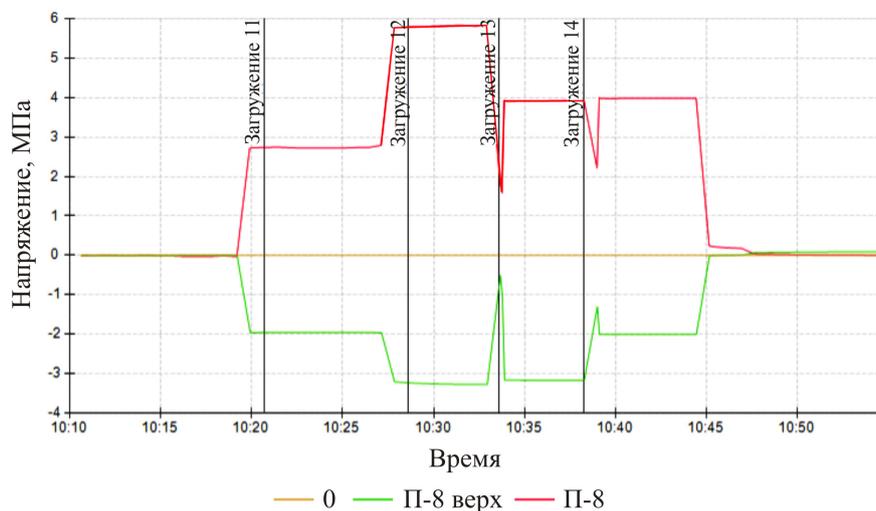


Рис. 6. График изменения напряжений по показаниям тензометров, установленных на нижней и верхней гранях прогона П-8 пролетного строения L_{1-2} во время проведения работ по испытанию сооружения, МПа

Определение показателей работы конструкций

Параметры	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8	П-9	П-10
Максимальное напряжение, МПа	-0,011	3,075	4,565	6,174	7,013	8,455	5,122	5,806	4,183	0,438
Остаточное напряжение, МПа	-0,003	0,053	0,118	0,020	0,124	0,228	0,920	0,001	0,107	0,076
Показатель работы конструкций	0,297	0,017	0,026	0,003	0,018	0,027	0,180	0,000	0,026	0,174

Заключение

В ходе исследований были получены графики изменения напряжений в нижней и верхней гранях прогонов деревянного пролетного строения для оценки фактической работы элементов конструкции в натуральных условиях.

Результаты статических испытаний показали высокую степень соответствия расчетных и фактических значений показателей работы сооружения.

При сопоставлении полученных теоретических и фактических показателей работы испытуемых конструкций деревянного моста с учетом их фактического технического состояния установлено, что прогоны пролетных строений способны воспринять требуемую нагрузку от лесовоза в сцепке с прицепом.

Полученные результаты позволяют оценить эксплуатационные характеристики сооружения и установить режим эксплуатации деревянного моста.

В процессе испытаний конструкций моста развития изначально выявленных дефектов и образования новых не установлено.

Современные методы исследований напряженно-деформированного состояния конструкций позволяют с максимальной точностью оценить фактическую работу сооружений под действием нагрузок, а также решить задачи оптимизации элементов конструкций с учетом требуемой грузоподъемности и минимизации затрат на материалы.

Данный подход к изучению состояния строительных конструкций способствует успешному развитию деревянного мостостроения, что может помочь решить такую важную задачу, как обеспечение экологической безопасности.

Список литературы

1. Пастушков Г.П., Пастушков В.Г. Основные требования к проектированию мостовых конструкций в соответствии с европейскими нормами // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – Т. 3. – С. 368–375.
2. Ботьяновский А.А., Пастушков В.Г. Применение BIM-технологий и новейшего оборудования при исследовании фактического технического состояния мостового сооружения» / Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – Т. 1. – С. 342–345.
3. Ou F., Weller C. An overview of timber bridges // Transp. Res. Rec. – 1986. – № 1053. – P. 1–12.
4. Стуков В.П. Конструктивно-технологическая система и теория расчета деревожелезобетонных пролетных строений балочных автодорожных мостов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Сев. (Аркт.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск, 2012. – 36 с.
5. Уткин В.А. Совершенствование конструкций пролетных строений автодорожных мостов из клееной древесины: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / СибАДИ. – Омск, 2009. – 40 с.
6. Гишман М.Е. Проектирование транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1980. – 391 с.
7. Аксельрод И.С., Гишман Е.Е., Гишман М.Е. Мосты и сооружения на автомобильных дорогах; под общ. ред. Е.Е. Гишмана. – М.: Транспорт, 1973. – 413 с.
8. Турковский С.Б., Варфоломеев Ю.А. Результаты натурных обследований деревянных конструкций // Промышленное строительство. – 1984. – № 6. – С. 19–20.
9. Калугин А.В. Деревянные конструкции. – М.: Изд-во АВС, 2003. – 223 с.
10. Атлас деревянных конструкций / К.-Г. Гетц, Д. Хоор [и др.]; пер. с нем. Н.И. Александровой; под ред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.
11. Вайтович А.Н., Шикуть К.К. Испытание путепровода с применением системы мониторинга АСМК // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. – Т. 1. – С. 264–267.
12. Кобзев П.Н. Совершенствование конструкции и методики расчета многоребристого пролетного строения моста из клееной древесины с учетом совместной работы перекрестной деревоплиты и балок: автореф. дис. ... канд. техн. наук / СибАДИ. – Омск, 2006. – 22 с.
13. Левинский Ю.Б., Петряев Н.Е. Особенности напряженно-деформированного состояния клееных балок, армированных волокнистыми синтетическими материалами [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8945> (дата обращения: 17.03.2021).

14. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений: в 2 т. / под ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – 1016 с.

15. Найчук А.Я., Петрукович А.Н. Применение метода калибровки податливости для определения трещиностойкости древесины // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2004. – № 1 (32). – С. 88–90.

References

1. Pastushkov G. P., Pastushkov V. G. Osnovnye trebovaniia k proektirovaniuu mostovykh konstrukttsii v sootvetstvii s evropeiskimi normami [Basic requirements for the design of bridge structures in accordance with European standards]. *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2013, vol. 3, pp. 368–375.

2. Botyanovskij A. A., Pastushkov V. G. Primenenie BIM-tekhnologii i noveishego oborudovaniia pri issledovanii fakticheskogo tekhnicheskogo sostoiianiia mostovogo sooruzheniia. [The use of BIM technologies and the latest equipment in the study of the actual technical condition of the bridge structure]. *Modernizatsiia i nauchny'e issledovaniya v transportnom komplekse. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2015, vol. 1, pp. 342–345.

3. Ou F. Weller C. An overview of timber bridges. *Transp. Res. Rec.*, 1986, no. 1053, pp. 1-12.

4. Stukov V.P. Konstruktivno-tekhnologicheskaiia sistema i teoriia rascheta derevozhelezobetonnykh proletnykh stroenii balochnykh avtodorozhnykh mostov [Structural and technological system and the theory of calculation of timber-reinforced concrete superstructures of girder road bridges]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Severnyj (Arkticheskij) federal'nyj universitet im. M.V. Lomonosova, Arhangel'sk, 2012, 36 p.

5. Utkin V.A. Sovershenstvovanie konstrukttsii proletnykh stroenii avtodorozhnykh mostov iz kleenoi drevesiny [Improvement of constructions of spans of road bridges made of glued timber]. Abstract of Doctor's degree dissertation. SibADI, Omsk, 2009, 40 p.

6. Gibshman M.E. Proektirovanie transportnykh sooruzhenii [Design of transport facilities]. Moscow, *Transport*; 1980, 391 p.

7. Gibshman E.E. et al. Mosty i sooruzheniia na avtomobil'nykh dorogakh [Mosty i sooruzheniia na avtomobil'nykh dorogakh]. Eds. Aksel'rod I.S., Gibshman M.E. Moscow, *Transport*, 1973, 413 p.

8. Turkovskii S.B., Varfolomeev Iu.A. Rezul'taty naturnykh obsledovanii dereviannykh konstrukttsii [Results of field examinations of wooden structures]. *Promyshlennoe stroitel'stvo*, 1984, no. 6, 19-20 pp.

9. Kalugin A.B. Dereviannye konstrukttsii [Wooden structures]. Moscow, *Assotsiatsiia stroit, vuzov*, 2003, 223 p.

10. Ermolova V.V. et al. Atlas dereviannykh konstrukttsii [Atlas of timber structures]. Eds. K.-G. Getts, D. Koor. Moscow, *Stroizdat*, 1985, 272 p.

11. Vaitovich A. N., K. K. Shikut'. Ispytanie puteprovoda s primeneniem sistemy monitoringa ASMK [Testing of the overpass using the ASMK monitoring system]. *Modernizatsiia i nauchny'e issledovaniya v transportnom komplekse. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2016, vol. 1, 264–267 pp.

12. Kobzev P.N. Sovershenstvovanie konstrukttsii i metodiki rascheta mnogorebristogo proletnogo stroeniia mosta iz kleenoi drevesiny s uchetom sovmestnoi raboty perekrestnoi derevoplity i balok [Improvement of the design and calculation method of the multi-ribbed superstructure of a laminated timber bridge, taking into account the joint work of cross-wood slabs and beams]. Abstract of Ph. D. thesis. SibADI, Omsk, 2006, 22 p.

13. Levinskij Yu.B., Petryaev N.E. Osobennosti napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kleenykh balok, armirovannykh volokonnyimi sinteticheskimi materialami [Features of the stress-strain state of glued beams reinforced with fiber synthetic materials] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 2, available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8945> (accessed 17 March 2021).

14. Spravochnik po koeffitsientam intensivnosti napriazhenii [Stress Intensity Factor Handbook]. Ed. Iu. Murakami. Moscow, *Mir*, 1990, 1016 p.

15. Naichuk A.Ia., Petrukovich A.N. Primenenie metoda kalibrovki podatlivosti dlia opredeleniia treshchinostoičnosti drevesiny [Application of the Compliance Calibration Method to Determine the Crack Resistance of Wood]. *Vestnik BGТУ. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2004, no. 1(32), 88-90 pp.

Получено 31.12.2020

Об авторах

Костюкович Ольга Витальевна (Минск, Беларусь) – старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели» Белорусского национального технического университета (220114, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 146а, e-mail: vk3829035@gmail.com).

Пастушков Валерий Геннадьевич (Минск, Беларусь) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты и тоннели» Белорусского национального технического университета (220114, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 146а, e-mail: valpast@inbox.ru).

About the authors

Volha V. Kastsiukovich (Minsk, Belarus) – Senior Lecturer, Department of Bridges and Tunnels, Belarusian National Technical University (146a, Nezavisimosty av., Minsk, 220014, Belarus, e-mail: vk3829035@gmail.com).

Valery G. Pastushkov (Minsk, Belarus) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Bridges and Tunnels, Belarusian National Technical University (146a, Nezavisimosty av., Minsk, 220014, Belarus, e-mail: valpast@inbox.ru).