



12. Электрический расчет многопроводных тяговых сетей переменного тока / Б.И. Косарев и др. // Вестник ВНИИЖТ. 1982. № 8. С. 32–37.
13. Тяговые и электрические расчеты по участку продления Кожуховской линии Московского метрополитена от станции Косино до станции Некрасовка : отчет о НИР / БелГУТ ; рук. В.С. Могила. Гомель, 2013. 57 с. № 2012.85-3с (8338).
14. Тяговые и электрические расчеты по участку продления Сокольнической линии Московского метрополитена от станции Юго-Западная до станции Тропарево : отчет о НИР / БелГУТ ; рук. В.С. Могила. Гомель, 2012. 41 с. № 2012.10/с (7900).
15. Тяговые и электрические расчеты первой линии Минского метрополитена : отчет о НИР / БелГУТ ; рук. В.С. Могила. Гомель, 2014. 117 с. № 2013.43-с (8853).
16. Тяговые и электрические расчеты по первому участку третьей линии Минского метрополитена от станции Корженевского до станции Площадь Юбилейная : отчет о НИР / БелГУТ ; рук. В.С. Могила. Гомель, 2013. 74 с. №2009.33-2с (8280).
17. Тяговые и электрические расчеты по первому участку третьей линии Минского метрополитена от станции Корженевского до станции Площадь Юбилейная. Проверка адекватности тяговых и электрических расчетов (заключительный) : отчет о НИР / БелГУТ ; рук. В.С. Могила. Гомель, 2014. 74 с. № 2009.33-2с (8280).
18. Оптимизация системы тягового электроснабжения для организации движения тяжеловесных поездов и электрического подвижного состава в режимах тяги и рекуперации : отчет о НИР / БелГУТ ; рук. В.С. Могила. Гомель, 2014. 164 с. № 9131.

УДК 624.21.014.2, 539.3, 625.1

Быкова Наталья Михайловна,
к. т. н., доц., зав. кафедрой «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 8(3952)638-360, e-mail: nauka.transport@yandex.ru

Баранов Тимофей Михайлович,
к. т. н., доц. кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 8(3952)638-399 (+0142), e-mail: Baranov-87@yandex.ru

Толстик Евгений Олегович,
аспирант кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 8(3952)638-399 (+0142), e-mail: E.O.Tolstikov@yandex.ru

МЕТОДИКА УТОЧНЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА СО СКВОЗНЫМИ ГЛАВНЫМИ ФЕРМАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОБИЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

N. M. Bykova, T. M. Baranov, E. O. Tolstikov

A METHOD FOR THE ELABORATION OF THE CARRYING CAPACITY OF THE SPAN RAILWAY TRUSS BRIDGE WITH THE MOBILE AUTOMATED MONITORING SYSTEMS

Аннотация. Одним из основных факторов, влияющих на оценку технического состояния мостов на железных дорогах, является грузоподъемность сооружения, определяемая методом классификации элементов пролетных строений и опор. Настоящая статья описывает применение современных средств мониторинга транспортных сооружений при уточненном определении грузоподъемности пролетных строений металлических мостов со сквозными главными фермами.

В настоящее время системы мониторинга сооружений получили значительное развитие и большое распространение в мостовом хозяйстве. Однако цена подобных систем такова, что позволяет оборудовать только уникальные сооружения. Мобильная автоматизированная система мониторинга может использоваться как инструмент для уточнения грузоподъемности пролетного строения, полученного расчетным путем. Сама система состоит из аппаратной, программной и организационно-технологической частей.

Уточнение грузоподъемности пролетного строения проводится в развитие раздела «Руководства по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов», посвященного анализу результатов испытаний мостов. В ходе рассуждений используются понятия коэффициента отклонения фактической работы сооружения от расчетной модели, линий влияния силовых факторов в элементах, усилия и напряжения в элементах фермы. При использовании системы мониторинга пролетных строений допустимая временная нагрузка выражается через напряжения в двух и более элементах от проходящих временных нагрузок, а также через площади, ограниченные линиями влияния для этих элементов через площади поперечного сечения элементов.

Данный подход позволяет избежать расходов на применение дорогостоящих капитальных систем мониторинга, организационно и технологически проце проведения испытаний сооружения, но при этом не теряет достоинств по определению



фактической работы конструкций под нагрузкой и, как следствие, уточненному расчету грузоподъемности пролетных строений методом классификации.

Ключевые слова: железнодорожные мосты, грузоподъемность, система мониторинга, тензометрия, испытания мостов.

Abstract. One of the main factors affecting the assessment of the technical condition of bridges on railways is the capacity of the structure, determined by the classification of elements of span structures and supports. This article describes the use of modern means of monitoring transport structures with an accurate definition of the carrying capacity of span structures of metal bridges with through main trusses.

At present, the monitoring systems of structures have developed significantly and are widely spread in the bridge economy. However, the price of such systems allows you to equip only unique facilities. The mobile automated monitoring system can be used as a tool for specifying the load capacity of a span structure obtained by calculation. The system itself consists of hardware, software and organizational-technological parts.

The refinement of the load capacity of the span structure is carried out in the development of the section of «Guidelines» for determining the load capacity of metal span structures of railway bridges», devoted to the analysis of the results of testing bridges. In the course of reasoning, the concepts of the coefficient of deviation of the actual work of the structure from the design model, the lines of influence of force factors in the elements, forces and stresses in the elements of the truss are used. When using the monitoring system of span structures, the permissible temporary load is expressed through stresses in two or more elements from the passing temporary loads, and also through areas limited by the influence lines for these elements and through the cross-sectional area of the elements.

This approach avoids the cost of using expensive capital monitoring systems, is organizationally and technologically simpler than testing the structure, but it does not lose merit in determining the actual operation of the structures under load and, as a consequence, refined calculation of the load capacity of span structures by the classification method.

Keywords: railway bridges, carrying capacity, monitoring system, tensometry, bridge testing.

Введение

Грузоподъемность является неотъемлемой и важнейшей характеристикой эксплуатируемых транспортных сооружений, воспринимающих значительные динамические и статические нагрузки. Оценка грузоподъемности наиболее слабых элементов конструкции с учетом всевозможных факторов внешних воздействий является весьма актуальной задачей, которая решается как расчетным, так и экспертным путем. Широкое распространение получило применение информационных систем, составляющих научно-методологическую базу для решения вопросов технической безопасности мостов [1].

Исходные данные для определения ресурса сооружения содержатся в проектной и исполнительной документации, а также в материалах обследования мостов. В то же время длительно эксплуатируемые сооружения содержат скрытые повреждения, которые трудно выявить при обычном обследовании, теоретические предпосылки расчетных методов не всегда соответствуют фактической пространственной работе конструкций. Степень влияния различных повреждений на изменение работы конструкций, хотя и описана в современных нормативных документах, во многом зависит от квалификации и профессиональных качеств инженера, проводящего обследования. Поэтому оценка достоверности определения грузоподъемности мостов порой представляет определенные сложности.

Обновленное «Руководство по определению грузоподъемности пролетных строений железнодорожных мостов» [2] рекомендует при определении грузоподъемности учитывать поведение моста под нагрузкой, использовать методы испытания

мостов и автоматизированные системы мониторинга. Учитывая тенденцию роста весов поездов, становится актуальным вопрос оперативной оценки грузоподъемности мостов с учетом фактической работы конструкций, определенной с помощью мостового инструментально-измерительного комплекса. Испытания мостов позволяют увидеть более детальную картину работы сооружения, но также не могут охватить весь спектр статических и динамических воздействий и реакций на них сооружения, являются затратными и технологически сложными работами, связанными с необходимостью организации перерыва движения поездов. Стационарные автоматизированные системы мониторинга не всегда рентабельны для обычных мостов с типовыми пролетными строениями. В этом случае более эффективной, оперативной, достоверной по представляемым данным и не требующей перерывов движения поездов является мобильная автоматизированная система мониторинга (МАСМ), которую могут устанавливать на конструкции мостов на определенный период времени специалисты Мостостанции или ПЧ ИССО. Необходима разработка методики оценки грузоподъемности железнодорожных мостов с учетом их фактической работы с использованием МАСМ.

Автоматизированные системы мониторинга и методы определения грузоподъемности

Современное технологическое и техническое обеспечение инструментальных средств контроля состояния строительных конструкций позволяет применять методы и системы мониторинга для решения разнообразных задач, связанных с оценкой технического состояния, ресурса и грузоподъемности мостов [3–6]. В развитие таких си-

стем для длительно эксплуатируемых железнодорожных мостов балочного типа предложена «Мобильная автоматизированная система мониторинга (МАСМ)» [7]. Для исследования работы конструкций под проходящей нагрузкой не требуется перерывов в графике движения транспорта, длительные наблюдения параметров работы сооружения позволяют выявить скрытые внешние факторы, влияющие на конструкцию, такие как динамика подвижного состава, ветровые нагрузки, сейсмические волны, смещения опор мостов и реактивные отклики на них конструкций. Необратимые накопления деформаций могут привести к скрытым изменениям в работе конструкций, которые весьма трудно выявить даже при обследовании мостов. Дополнительная информация о внешних воздействиях и реактивных откликах конструкций позволит более достоверно оценить их грузоподъемность.

Оценка грузоподъемности с применением МАСМ раскрывает возможности выявления скрытых резервов долговечности и несущей способности конструкций или, наоборот, выявляет причины снижения ресурсов конструкций. Суть методики оценки грузоподъемности с применением МАСМ заключается в контроле эксплуатационных параметров сооружения в течение некоторого времени, статистическом определении коэффициента отклонения фактической работы сооружения от теоретической модели, аналогично конструктивному коэффициенту при проведении испытаний.

Рассматривается возможность применения такой методики на примере пролетного строения железнодорожного моста со сквозными главными

фермами. Исследованию работы стальных пролетных строений железнодорожных мостов различных конфигураций посвящены многие научные труды, определившие векторы методологического развития обеспечения грузоподъемности как безопасности транспортного сооружения [8–10]. В этом свете применение МАСМ позволит повысить безопасность железнодорожных мостов за счет более достоверной оценки фактических ресурсов конструкций.

МАСМ представляет собой программно-аппаратную систему, состоящую из автономно работающего оборудования и программного обеспечения (рис. 1). *Аппаратная часть* системы включает в себя:

- первичные преобразователи, преобразующие изменение физического параметра в электрический сигнал;
- преобразователи электрического сигнала в цифровую информацию (интерфейсы);
- автономные регистраторы информации;
- передатчики информации по радиоканалам для удаленной регистрации и управления;
- соединительные провода;
- оборудование автономного питания системы.

Для оценки и уточнения грузоподъемности металлического пролетного строения применяются первичные преобразователи в виде тензорезисторов (тензодатчиков). Фиксация линейных относительных деформаций элементов, осуществляемых при помощи тензодатчиков, проводится в режиме статических измерений.



Рис. 1. Организационная схема МАСМ



Периодичность режима работы тензодатчиков устанавливается 0,04 с (25 Гц), достаточной для определения динамических характеристик пролетного строения: динамического коэффициента, периодов собственных колебаний, уровней затухания колебаний.

Программное обеспечение МАСМ позволяет анализировать получаемые системой мониторинга данные, а так же проводить оперативное определение заданных параметров.

Организационно-технологическая часть. На пролетное строение железнодорожного моста устанавливаются элементы аппаратной части системы. При работе МАСМ с датчиков деформаций элементов, температуры пролетного строения, перемещений опорных частей, ускорений опорных точек, установленных на мосту, поступают данные, по которым после их обработки определяются текущие значения соответствующих параметров. На грузоподъемность пролетного строения в первую очередь оказывают влияние показания деформаций элементов, определяемых тензодатчиками.

Теоретические основы уточнения грузоподъемности с использованием МАСМ

Основные положения определения грузоподъемности мостов методом классификации были заложены в 30-х годах прошлого столетия [11–15], в дальнейшем получили развитие [16] и долгое время удерживались в «Руководстве по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов» [17]. В 2015 году вышло новое «Руководство» [2], в основу которого легли сложившиеся принципы определения грузоподъемности с учетом более современных методов диагностики сооружения и расчетных технологий. Так, определилась необходимость учета экспериментальных данных при работе конструкций под нагрузкой при испытании мостов. Отмечается также необходимость использования автоматизированных систем мониторинга, однако методики анализа и использования данных систем мониторинга применительно к классификации по грузоподъемности нуждаются в дальнейшем развитии. Совершенствование методики оценки грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов рассматривалось по пути автоматизированных технологий расчетов [18].

В настоящей статье рассматривается методика оценки грузоподъемности железнодорожного моста с использованием МАСМ. При установке на пролетное строение со сквозными главными фермами МАСМ в течение определенного периода времени накапливается статистика данных кон-

троля работы конструкций под обращающейся нагрузкой. Вопрос о продолжительности времени установки МАСМ требует отдельного исследования. Очевидно, что для разных сооружений этот период может быть различным и зависит от целевых задач мониторинга и состояния сооружения. Так, для контроля реакции сооружения на ветровое или геодинамическое воздействие период времени будет зависеть от времени проявления наблюдаемых факторов. В случае контроля работы конструкций в условиях функциональной нагрузки достаточно периода наблюдений в течение нескольких суток. Например, за однократное испытание принимается проезд одного состава поезда (рис. 2). При каждом испытании программными средствами определяются наибольшие напряжения в элементах $\sigma_{i,max}$, максимальные динамические коэффициенты $(1 + \mu_0)_u^i$ и средние напряжения $\sigma_{i,cp}$:

$$\sigma_{i,cp} = \sigma_{i,max} / (1 + \mu_0)_u^i \quad (1)$$

Каждый i -й элемент, на котором установлен датчик, пронумеровывается от 1 до n , где n – общее количество элементов с датчиками деформаций. В итоге набор данных о мониторинге сводится в матрицу значений:

$$\Sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{1j} & \sigma_{1m} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{2j} & \sigma_{2m} \\ \sigma_{i1} & \sigma_{i2} & \sigma_{ij} & \sigma_{im} \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \sigma_{nj} & \sigma_{nm} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где σ_{ij} – максимальное значение напряжения при испытании;

m – общее количество испытаний;

n – общее количество элементов, на которых установлены датчики;

j – номер испытания;

i – номер элемента, на котором установлен датчик.

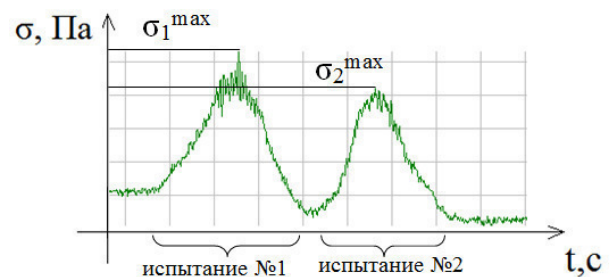


Рис. 2. График изменения напряжений в элементе при мониторинге

Так как длительный мониторинг работы пролетного строения проводится при неизвестной



заранее величине и схеме проходящей нагрузки, целесообразно найти отношение продольных усилий в элементах фермы между собой. Переход от конкретного усилия в i -м элементе к доле усилия по отношению к базовому элементу производится делением максимального нормального напряжения в i -м элементе к максимальному нормальному напряжению в базовом элементе с номером z . Доля усилия в самом базовом элементе в таком случае принимается равной единице. При этом предполагается линейная связь между усилиями и напряжениями в элементе, а сами элементы фермы работают только на осевое растяжение-сжатие.

Для теоретического определения работы элементов моста можно воспользоваться аппаратом строительной механики в виде линий влияния продольных усилий в элементах фермы и отношения площадей, ограниченных линиями влияния (ЛВ): для рассматриваемого элемента ω_i к базовому элементу ω_z . Значения ω_i приведены в табл. 1. За **базовый** принимается элемент с однозначной линией влияния и наибольшей площадью, ограниченной этой линией, выделен жирным шрифтом.

Из сравнения значений площадей между собой видно, что наибольшее значение имеет площадь, ограниченная линией влияния для элемента верхнего пояса фермы В3-В4, который и принимается за базовый элемент. После этого находится коэффициент отношения площади линии влияния i -го элемента к площади z -го, базового (3).

$$\Omega_i = \frac{\omega_i}{\omega_z}, \quad (3)$$

где ω_i – площадь ЛВ i -го элемента;

ω_z – площадь ЛВ базового элемента.

Таким образом, определяется теоретическое отношение усилий и связанных с ними нормальных напряжений в элементах фермы. Фактическое же распределение усилий между элементами находится из результатов работы системы мониторинга и представляется в виде коэффициента отношения максимального напряжения в i -м элементе к максимальному напряжению в базовом элементе при j -м проходе обращающейся нагрузки (4).

$$\delta_{i,j} = \frac{\sigma_{i,j}}{\sigma_{z,j}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{i,j}$ – напряжение в i -м элементе при j -м испытании без учета динамики;

$\sigma_{z,j}$ – напряжение в базовом элементе при j -м испытании без учета динамики.

Далее вычисляется коэффициент отклонения фактической работы сооружения от его расчетной модели в относительных величинах C (5), аналогично конструктивному коэффициенту по напряжениям. Множество проездов транспортной нагрузки позволяет определить средние значения коэффициентов отклонения для каждого i -го элемента, формула (6), которые будут содержать в себе фактические параметры работы элементов и сооружения в целом при различных внешних воздействиях.

$$C_{i,j} = \frac{\delta_{i,j}}{\Omega_i} = \frac{\sigma_{i,j}}{\sigma_{z,j}} \cdot \frac{\omega_z}{\omega_i}; \quad (5)$$

$$\tilde{C}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m C_{i,j} = \frac{\omega_z}{\omega_i m} \sum_{j=1}^m \frac{\sigma_{i,j}}{\sigma_{z,j}}. \quad (6)$$

Т а б л и ц а 1

Таблица значений площадей, ограниченных линиями влияния элементов фермы длиной 66 м

Номер элемента	Элемент фермы	Значения и отношения площадей линий влияния			
		Положительные «+»		Отрицательные «-»	
		ω_i , м	Ω_i	ω_i , м	Ω_i
1	H0-H1	19,851	-0,437	-	-
2	H1-H2			-	-
3	H2-H3	42,539	-0,937	-	-
4	H3-H4			-	-
5	B1-B2	-	-	-34,031	0,750
6	B2-B3	-	-	-34,031	0,750
7	B3-B4	-	-	-45,375	1,000
8	H0-B1	-	-	-35,039	0,772
9	B1-H2	25,743	-0,567	-0,715	0,016
10	H2-B3	2,860	-0,063	-17,877	0,394
11	B3-H4	11,441	-0,252	-6,435	0,142
12	H1-B1	8,25	-0,182	-	-



Динамические коэффициенты при проведении испытаний определяются как отношение пикового напряжения в i -м элементе при проведении j -го испытания $(1 + \mu_0)_{i,j}$ и также могут обобщаться средними значениями $\overline{(1 + \mu_0)_{i,j}}$:

$$(1 + \mu_0)_{i,j} = \frac{\sigma_{i,j}^{\max}}{\sigma_{i,j}}; \quad (7)$$

$$\overline{(1 + \mu_0)_{i,j}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (1 + \mu_0)_{i,j} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{\sigma_{i,j}^{\max}}{\sigma_{i,j}}.$$

Грузоподъемность элементов сооружения определяется методом классификации на основе результатов испытаний и выражается в единицах K эталонной нагрузки С-1 [2]:

$$K = \frac{k_n}{k_{c1} (1 + \mu)}; \quad (8)$$

$$k_n = \frac{1}{n_k n_\varepsilon} k_0 (1 + \mu_0)_u \frac{R \mp \sigma_p}{\sigma_{i,\max}}, \quad (9)$$

где k_n – допустимая временная нагрузка (кН/м) при расчетах по прочности;

k_{c1} – величина эталонной нагрузки С-1 (кН/м);

$(1 + \mu)$ – динамический коэффициент к эталонной нагрузке С-1;

k_0 – интенсивность распределенной нагрузки от испытательного подвижного состава (кН/м);

n_k – коэффициент надежности к вертикальной нагрузке от подвижного состава;

n_ε – коэффициент перегрузки одного из главных несущих элементов, вызванный эксцентриситетом пути;

$(1 + \mu_0)_u$ – средний динамический коэффициент, определенный по результатам испытаний;

R – расчетное сопротивление материала элемента, МПа;

σ_p – нормальное напряжение в элементе, вызванное постоянными нагрузками, МПа.

Определение допустимой временной нагрузки по устойчивости в [2] имеет некоторые отличия от формулы (9), отражающие понижение расчетного сопротивления материала за счет коэффициента продольного изгиба и характера нагруженного состояния элементов, но применяемые в дальнейшем действия справедливы и для них.

В составе формулы присутствует интенсивность распределенной нагрузки от испытательного подвижного состава k_0 , которая остается неиз-

вестной при испытаниях пролетного строения под проходящей нагрузкой. Кроме того, МАСМ позволяет контролировать работу пролетного строения при ряде загрузений проходящей испытательной нагрузкой при различных схемах и параметрах движения, определяемых графиком движения поездов. Максимальное расчетное нормальное напряжение в элементе является функцией интенсивности проходящей испытательной нагрузки и динамического коэффициента к этой нагрузке:

$$\sigma_{i,j}^{ras} = f(k_{0j}; (1 + \mu_0)_{i,j}). \quad (10)$$

Используя аппарат линий влияния для интенсивности нагрузки без динамического коэффициента:

$$k_{0j} = \frac{\sigma_{i,j}^{ras} A_i^{nt}}{\omega_i}, \quad (11)$$

где A_i^{nt} – площадь поперечного сечения элемента нетто, испытывающего растяжение-сжатие, м²;

Коэффициент отклонения $\tilde{C}_{i,j}$ по аналогии с конструктивным коэффициентом определяется как отношение измеренного параметра к расчетному, где в данном случае таким параметром является напряжение в рассматриваемом i -м элементе:

$$\sigma_{i,j}^{ras} = \frac{\sigma_{i,j}}{\tilde{C}_{i,j}}. \quad (12)$$

Таким образом, допустимая временная нагрузка (9) с учетом (5)–(7), (11) и (12) будет определяться:

$$k_n = \frac{1}{n_k n_\varepsilon} \frac{A_i^{nt}}{\omega_z} \frac{(R \mp \sigma)_p (1 + \mu_0)_i}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{\sigma_{i,j} (1 + \mu_0)_{i,j}}{\sigma_{z,j}}}. \quad (13)$$

Допустимая временная нагрузка выражена через напряжения в базовом и рассматриваемом элементе, а также через площадь, ограниченную линией влияния базового элемента, и площадь поперечного сечения рассматриваемого элемента. За базовый принимается элемент, обладающий однозначной линией влияния, для обеспечения единственного решения уравнения (13).

В формуле (13) n_k принимается по руководству [2] в зависимости от длины загрузки линии влияния временной нагрузкой и определяется для каждого i -го элемента отдельно: n_k^i . Коэффициент n_ε определяется статистическим сравнением измеренных напряжений в параллельных элементах



левой и правой фермы, выраженных через напряжения в базовом элементе с учетом (4):

$$n_{\varepsilon}^i = \frac{\sum_{j=1}^m \delta_{ij,\max}^{left}}{\sum_{j=1}^m \delta_{ij,\max}^{right}}. \quad (14)$$

Уточнение допустимой временной распределенной нагрузки происходит за счет статистического подхода к определению коэффициентов формулы (13). Сама допустимая нагрузка не зависит от вида и интенсивности испытательной нагрузки, что делает возможным применение МАСМ к классификации элементов металлических ферм стального пролетного строения по грузоподъемности.

Заключение

1. Метод классификации находящихся в эксплуатации мостов по грузоподъемности сохраняет свою актуальность, благодаря простоте, наглядности и удобству применения. Развитие этого метода осуществляется по пути автоматизации расчетов на основе результатов уточнения работы пролетных строений при помощи «Мобильной автоматизированной системы мониторинга (МАСМ)». Новое Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов рекомендует учитывать поведение пролетных строений под нагрузкой. Для этого могут быть проведены специализированные испытания моста или установлены автоматизированные системы мониторинга. Наиболее эффективным и оперативным является применение мобильных автоматизированных систем мониторинга, позволяющих более полно и достоверно оценивать поведение конструкций под нагрузкой.

2. В настоящей статье предложена методика оценки грузоподъемности пролетных строений со сквозными главными фермами на основе данных мобильной системы мониторинга. Теоретической основой к результатам легли положения «Руководства» по оценке данных испытаний мостов. Использование коэффициента отклонения фактической работы сооружения от расчетной модели и приема соотношения нормальных напряжений в разных элементах позволило исключить из исходных формул неизвестную величину эквивалентной распределенной нагрузки от подвижного состава. Кроме того, показана методика экспериментального определения коэффициента перегрузки одной из главных ферм от эксцентриситета пути на мо-

сту и статистического подхода к нахождению грузоподъемности элементов главных ферм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бокарев С.А. Управление техническим состоянием искусственных сооружений железных дорог России на основе новых информационных технологий. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2002. 276 с.
2. Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов. Введ. 2015.12.31. № 3227р. М, 2015.
3. Болдырев Г.Г., Епинин Е.С. Целесообразность применения автоматизированных систем мониторинга для оценки текущего состояния строительных конструкций зданий и сооружений // <http://npp-geotek.com/d/942856/d/tselesoobraznostprimeneniayasmk.pdf>.
4. Яшнов А.Н., Кузьменков П.Ю. Проектирование систем мониторинга технического состояния внеклассных железнодорожных мостов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Т.1. Иркутск : ИрГУПС. 2016. С. 470–474.
5. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 2. Непрерывный мониторинг состояния мостовых сооружений / И.Г. Овчинников и др. // Транспортные сооружения. 2014. Т.1. № 2. URL: <http://t-s.today/PDF/01TS214.pdf>. (дата обращения 11.04.2017).
6. Система автоматизированного мониторинга геодинамической безопасности городских мостов / Н. М. Быкова и др. // Транспортное строительство 2011. №7. С. 11–13.
7. Быкова Н.М., Баранов Т.М., Толстиков Е.О. Развитие методики оценки грузоподъемности мостов с использованием мобильных автоматизированных систем мониторинга // Транспортные сооружения. 2015. Т. 2 № 4(8). URL: <http://t-s.today/PDF/01TS415.pdf> (дата обращения 11.04.2017).
8. Осипов В.О. Долговечность металлических пролетных строений эксплуатируемых железнодорожных мостов. М. : Транспорт, 1982. 287 с.
9. Белуцкий И.Ю. Резервы грузоподъемности и несущей способности сталебетонных пролетных строений. Хабаровск : Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1999. 175 с.
10. Бокарев С. А, Ращепкин А. А. Новый подход к оценке несущей способности металлических про-



- летних строений железнодорожных мостов // Путь и путевое хозяйство. 2006. № 11. С. 26–27.
11. Напряженное состояние мостовых ферм и опытные исследования: Десятый Сборник Отдела Инженерных Сооружений. М. : Транспечать, 1926. 169 с.
 12. Дополнительные напряжения мостовых ферм от жесткости узлов и их практическое значение / Е.О. Патон и др. М., 1930. 318 с.
 13. Инструкция по обследованию и перерасчету металлических железнодорожных мостов. Утв. ЦПЗ Косорез 09.10.1932 г. М.-Л. : Транспечать НКПС, 1933. 128 с.
 14. К вопросу о временной вертикальной нагрузке для расчета ж.-д. мостов / Н. Парамонов и др. М. : Трансжелдориздат, 1935 80 с.
 15. Писицын М.Е. К вопросу о грузоподъемности железнодорожных мостов М. : Трансжелдориздат, 1949. 220 с.
 16. Содержание, реконструкция и усиление мостов и труб / В.О. Осипов и др. М. : Транспорт, 1996. 471 с.
 17. Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов : утв. Гл. упр. пути МПС 02.08.1985 г. М. : Транспорт, 1987. 272 с.
 18. Бокарев С.А., Ращепкин А.А. Совершенствование методики оценки грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов // Вестник ТГАСУ. 2006. № 2. С. 177–186.

УДК 656.025

Гозбенко Валерий Ерофеевич,
д. т. н., профессор,

Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. (3952) 638357, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Крипак Марина Николаевна,
к. т. н., доцент,

Севастопольский государственный университет,
тел. 8 (902)5197750, e-mail: marikol@yandex.ru

Лебедева Ольга Анатольевна,
к. т. н., доцент,

Ангарский государственный технический университет,
тел. 8 (952)6326611, e-mail: kravhome@mail.ru

Каргапольцев Сергей Константинович,
д. т. н., профессор,

Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 8(3952) 638-301, e-mail: kck@irgups.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

V. E. Gozbenko, M. N. Kripak, O. A. Lebedeva, S. K. Kargapoltsev

IMPROVEMENT IN THE FUNCTIONING OF TRANSPORT NETWORK OF URBAN PASSENGER TRANSPORT BY USING AUTOMATION OF OPTIMAL ROLLING STOCK SELECTION MODEL

Аннотация. В статье выявлены и проанализированы основные факторы, воздействующие на организацию эффективного функционирования транспортной сети городского пассажирского транспорта. Автоматизация модели выбора оптимального подвижного состава является важной задачей для повышения эффективности функционирования транспортной сети.

Отмечено, что тип транспортных средств, обслуживающих конкретный маршрут, так же как и конфигурация маршрутной сети, в значительной степени влияет на общие затраты транспортной системы. В этой связи рассмотрена оптимизационная двухуровневая математическая модель выбора подвижного состава необходимой вместимости, которая может быть использована для различных транспортных сетей, с целью обеспечения наиболее полного и качественного удовлетворения потребности населения в перевозках и необходимого уровня качества обслуживания, во взаимосвязи с экономической целесообразностью. Понятие «экономическая целесообразность» включает в себя повышение производительности труда, размера прибыли и уровня рентабельности транспортных организаций, минимизацию суммарных социальных издержек, связанных с эксплуатацией транспортной системы. Структура затрат, использованная в данной модели, – затраты пассажиров и эксплуатационные расходы. Модель предполагает, что пассажиры выбирают из всех возможных маршрутов, соединяющих любые два узла в сети общественного транспорта. Предполагается, что система имеет ограниченную пропускную способность и, следовательно, время в пути увеличивается пропорционально количеству пассажиров.

Представленная в статье методика выбора оптимального вида подвижного состава позволяет снизить эксплуатационные затраты, однако для эффективности реализации необходима слаженная работа всех участников перевозочного процесса.

Ключевые слова: транспортная система, математическая модель, переменные, выбор подвижного состава, маршрут.