

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering <http://t-s.today/>

2015, Том 2, №4 / 2015, Vol 2, No 4 <http://t-s.today/issues/vol2-no4.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/01TS415.pdf>

DOI: 10.15862/01TS415 (<http://dx.doi.org/10.15862/01TS415>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Быкова Н.М., Баранов Т.М., Толстиков Е.О. Развитие методики оценки грузоподъемности мостов с использованием мобильных автоматизированных систем мониторинга // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 2, №4 (2015) <http://t-s.today/PDF/01TS415.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Bykova N.M., Baranov T.M., Tolstikov E.O. [Development of the methodology for assessing the carrying capacity of bridges using mobile automated monitoring systems] Russian journal of transport engineering, 2015, Vol. 2, no. 4. Available at: <http://t-s.today/PDF/01TS415.pdf> (In Russ.)

**УДК 624.21**

**Быкова Наталья Михайловна**

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Россия, Иркутск<sup>1</sup>  
Заведующий кафедрой «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: bikovanm@mail.ru

**Баранов Тимофей Михайлович**

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Россия, Иркутск  
Кандидат технических наук  
E-mail: baranov-87@ya.ru

**Толстиков Евгений Олегович**

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Россия, Иркутск  
Аспирант  
E-mail: E.O.Tolstikov@yandex.ru

## **Развитие методики оценки грузоподъемности мостов с использованием мобильных автоматизированных систем мониторинга**

**Аннотация.** В данной статье приводится анализ существующих методов определения грузоподъемности мостов и путей их совершенствования. Авторами предлагается модернизация технологии оценки грузоподъемности длительно эксплуатируемых мостов с использованием мобильной автоматизированной системы мониторинга, устанавливаемой на определенный период времени (от 1-го до 6-ти месяцев). Данная система позволит фиксировать реакцию различных элементов конструкций моста на транспортные нагрузки и воздействия геодинамического и климатического характера, а также прогнозировать и предупреждать о вероятном развитии опасных процессов, и, тем самым, предусматривает своевременное профилактическое обеспечение безопасности и экономической эффективности эксплуатации транспортного сооружения. На основании данных мобильной автоматизированной системы мониторинга определяются коэффициенты отклонения работы расчетной модели от фактической работы самих конструкций, с помощью которых

<sup>1</sup> 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15

уточняется грузоподъемность моста. Применяемая технология позволит уточнить расчетные модели моста относительно фактической пространственной и нелинейной работы его конструкций, оценить грузоподъемность моста с более полным составом факторов нагружения функциональной нагрузкой и воздействий окружающей среды. Авторами сформулированы основные положения работы мобильной автоматизированной системы мониторинга и предложена схема оценки грузоподъемности с использованием данной системы.

**Ключевые слова:** мосты; оценка грузоподъемности мостов; система мониторинга; конструктивный коэффициент; учет внешних воздействий; численное моделирование; нелинейность системы

Одной из важных задач Служб, эксплуатирующих железные и автомобильные дороги, является обеспечение потребительских свойств мостов. Важным потребительским свойством моста является его грузоподъемность, как характеристика, соответствующая наибольшему классу эксплуатационной нагрузки заданной структуры, при которой исчерпывается несущая способность конструкции [1].

Грузоподъемность моста определяется грузоподъемностью наиболее загруженного (критического) элемента с учетом фактического состояния моста. Грузоподъемность критического элемента определяется по формуле [1]:

$$G = \frac{(S_{ult} - S_{const}) K}{S_k}, \quad (1)$$

где  $S_{ult}$  – предельное усилие, воспринимаемое элементом по условию прочности, выносливости или устойчивости (несущая способность);  $S_{const}$  – усилие в элементе от постоянных нагрузок;  $S_k$  – усилие в элементе от временной эталонной (АК, НК и т.д.) нагрузки;  $K$  – класс эталонной нагрузки.

Основные положения определения грузоподъемности железнодорожных мостов изложены в Руководствах [2, 3], автодорожных мостов – в ОДМ.218.0.032.-2003[4]. Для тех и других мостов с учетом различного транспортного подвижного состава принципы определения грузоподъемности моста являются близкими.

Определение предельного усилия  $S_{ult}$  (несущей способности) элементов моста осуществляется по геометрическим размерам и механическим (прочностным, деформативным) свойствам материалов, сложившимся к рассматриваемому периоду времени с учетом характера статической работы конструктивной системы. Определение усилий в элементах моста от постоянной и эталонной временной нагрузки выполняется по объемам постоянных нагрузок, параметрам загрузки эталонной нагрузкой, статической схеме моста.

Источником информации для выполнения расчетов по грузоподъемности являются проектная, исполнительная документация, данные эксплуатационных служб и материалы обследования моста. При необходимости уточнения работы моста выполняются его испытания. Таким образом, вопрос оценки грузоподъемности сводится к вопросу оценки остаточного ресурса, расходуемого на пропуск подвижных составов. Методика оценки грузоподъемности мостов создана в тридцатых годах XX века и совершенствовалась по мере изменения транспортных средств, расчетных предпосылок. Большой опыт испытания мостов показывает, что часто конструктивные коэффициенты характеризуют существенное отличие расчетных и инструментально измеряемых показателей (прогибов, деформаций). На расхождения влияют погрешности измерительных приборов, адекватность расчетных моделей, правильность формализации приложения транспортных нагрузок. Поэтому одним из

направлений совершенствования оценки грузоподъемности является развитие методик уточнения конструктивных запасов пролетных строений мостов [5-9] на стадии проектирования в целях экономии ресурсов. Такой путь не всегда оправдан, поскольку при длительной эксплуатации моста эти резервы снижаются по мере износа конструкций, и грузоподъемность моста может оказаться недостаточной.

Кроме уточнения конструктивных особенностей немаловажным является вопрос численного моделирования нагружения мостов [10]. При испытании новых мостов применение современных программно-вычислительных комплексов типа Midas Civil позволяет получать значения конструктивных коэффициентов в диапазоне 0.9 – 1.0. Однако при испытании длительно эксплуатируемых мостов, конструктивные коэффициенты значительно отличаются от 1.0. Это можно объяснить тем, что при формировании численных моделей сложно учесть особенности работы изношенных мостов с характерными признаками физической и контактной нелинейности их элементов.

На наш взгляд, в настоящее время наступает переломный момент, когда *требуется модернизация технологий оценки грузоподъемности мостов*. Можно выделить ряд аспектов в пользу этого тезиса.

1. В последние годы на сети железных дорог страны наблюдается рост эксплуатационной нагрузки за счет увеличения весов подвижного состава и превышения толщины балласта в течение ряда капитальных ремонтов пути. На автодорожных мостах неконтролируемо растут потоки тяжелого транспорта.
2. На сети железных дорог и территориальных автомобильных дорог эксплуатируется большой парк изношенных мостовых сооружений, требующих ремонта и замены.
3. Реализация расчетных технологий осуществляется с помощью высокопроизводительных программно-вычислительных комплексов (Nastran, Sofistik, Midas).
4. При проектировании новых уникальных мостов, а также, ремонте и реконструкции сложных мостов все шире привлекаются средства инструментального мониторинга.

Более кратко можно сказать, что на фоне общего ухудшения технического состояния мостового парка, новый виток развития получили программно-инструментальные диагностические средства мостовых сооружений, которые могут стать основой более точных моделей при оценке ресурса моста.

Трудно решаемым при оценке ресурсов остается вопрос учета внешних воздействий окружающей среды, к которым относятся геодинамические, климатические и другие факторы. С точки зрения геодинамики, на территории России существует ряд зон, подверженных различным геодинамическим и геодеформационным факторам, в результате которых грунтовые пласты и вместе с ними основания опор мостов, испытывают определенные смещения, что отражается на остаточном ресурсе мостовых конструкций [11].

Сложным является также вопрос учета нелинейной работы конструктивной системы длительно эксплуатируемых мостов, при этом нелинейность системы может быть геометрической, физической и контактной. Геометрическая нелинейность может быть вызвана, например, влиянием на распределение усилий сверхнормативных прогибов. Физическая нелинейность конструкций связана с изменением свойств материалов, развитием трещин и повреждений. Контактная нелинейность может быть обусловлена ослаблением

натяжения высокопрочных болтов, трещинами и повреждениями на сварных контактных швах.

На фоне этих проблем объективной реальностью просматриваются технологии оценки грузоподъемности мостов, основанные на использовании систем мониторинга. Мониторинг оснований и конструкций предусматривается для обеспечения безопасности сооружений в соответствии с Федеральным законом № 384 от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». С 1 января 2014 г. вступил в действие ГОСТ 31937-2011. «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». Свод правил по проектированию мостов СП 35.13330.2011 формирует требования организации мониторинга: «при строительстве и эксплуатации больших и сложных по конструкции мостов; для металлических и железобетонных конструкций, в которых применено их дополнительное предварительное напряжение; для мостов с внешне статически неопределимыми конструкциями, в которых возможно появление дополнительных усилий, деформаций и осадок из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений; для железобетонных конструкций, в которых возможна большая неопределенность длительных процессов, связанных с ползучестью, усадкой и температурными деформациями». Росавтодором выпущен отраслевой методический документ ОДМ 218.4.002-2008. «Руководство по проведению мониторинга состояния эксплуатируемых мостовых сооружений», в котором уточнены объекты мониторинга: «преимущественно мосты с большими пролетами (стальные мосты с пролетами длиной более 100 м, железобетонные с пролетами более 80 м), мосты большой высоты (высота опор более 40 м), мосты со сложными конструктивными решениями; мосты, эксплуатируемые в сложных инженерно-геологических, сейсмических или климатических условиях; мосты после строительства, реконструкции, модернизации или ремонта, осуществленных с использованием новых технологий, конструкций и материалов; мосты, эксплуатируемые в аварийном состоянии, вызванном чрезвычайными обстоятельствами в период ликвидации аварийных ситуаций; мосты, подлежащие ремонту, в случае необходимости установления причин возникновения и динамики развития дефектов, разработки прогноза их развития». Свод правил обследования и испытания мостов СП 79.13330.2012 также рассматривает необходимость проведения мониторинга при возникновении и развитии повреждений, влияющих на грузоподъемность сооружений, вплоть до их устранения. Перечень приведенных документов свидетельствует о важности внедрения технологий мониторинга, как при строительстве, так и при эксплуатации мостов.

Представляется актуальным направление исследований по разработке методик оценки грузоподъемности с использованием мобильных (нестационарных) автоматизированных систем мониторинга (МАСМ). Под свойством мобильности понимается установка МАСМ на определенный период времени. Длительность этого периода зависит от поставленных задач мониторинга. Главной задачей МАСМ является проверка адекватности представлений о работе моста. Критерием адекватности являются конструктивные коэффициенты и прочие параметры контроля объективности работы автоматизированной системы. В этом плане работу МАСМ можно представить в виде испытания моста по специальной программе на проходящую нагрузку. В работе [12] предложена методика идентификации повреждений в пролетных строениях моста с использованием банка данных откликов от проходящих испытательных транспортных средств. Однако использование МАСМ с целью определения грузоподъемности моста предполагает более широкий круг задач. Первоочередными задачами представляются разработка методик:

- выявления вклада в работу моста внешних воздействий и функциональных нагрузок;

- анализа и оценки конструктивных коэффициентов сопоставления численных и экспериментальных значений контролируемых параметров работы конструктивной системы;
- определения грузоподъемности моста с учетом аналитической работы МАСМ.

В ходе решения задач привлекается математический аппарат вероятностного и детерминированного анализа. Грузоподъемность моста при этом определится по формуле:

$$\min|G_i| = k_{el,i} \left| \frac{(S_{ult,i} - \sum_j S_{const,ij})}{S_{k,i}} \right| K, \quad (2)$$

$\min|G_i|$  – минимальная грузоподъемность  $i$ -го элемента моста;

$S_{ult,i}$  – несущая способность  $i$ -ого элемента конструктивной системы;

$S_{const,ij}$  – усилие в  $i$ -ом элементе от  $j$ -го фактора внешних нагрузок и воздействий постоянного характера;

$S_{k,i}$  – усилие в  $i$ -ом элементе от временной эталонной нагрузки;

$K$  – класс эталонной нагрузки;

$k_{el,i}$  – коэффициент отклонения работы численной модели от фактической работы  $i$ -ого элемента, определенный с использованием системы МАСМ.

Работу МАСМ можно представить следующей схемой (рис. 1).



**Рисунок 1.** Схема к оценке грузоподъемности с использованием мобильных (нестационарных) автоматизированных систем мониторинга (рисунок авторов)

**Figure 1.** Scheme for assessment of carrying capacity with the use of mobile (non-stationary) computerized monitoring systems (authors' figure)

Оценка грузоподъемности моста традиционно начинается с изучения технической документации, выполнения геодезической и обмерной съемки, определения свойств материалов, составления ведомостей дефектов. Предварительно определяются параметры функциональных нагрузок и воздействий внешней среды. Этого достаточно для того, чтобы сформировать численные модели мостового сооружения. Выполняется установка мобильной автоматизированной системы мониторинга. Контролируемыми параметрами служат, как правило, деформации в элементах моста под проходящей нагрузкой, получаемые с использованием вероятностных и детерминированных способов обработки информации. Дополнительно контролируются вертикальные и горизонтальные смещения определенных точек опор и пролетных строений. Определяются коэффициенты отклонения работы элементов моста от результатов расчета численной модели. Если отклонения  $k_{el,i}$  различных циклов контроля отличаются на величину  $\varepsilon$ , меньшую некоторой допустимой погрешности  $[\varepsilon]$

( $\varepsilon < [\varepsilon]$ ), определяется грузоподъемность элементов моста с учетом коэффициентов  $k_{el,i}$  по формуле (2), в противном случае операция сбора данных повторяется вновь. Следует отметить, что минимальные классы грузоподъемности моста могут оказаться в других элементах и сечениях конструкций, чем при расчете сооружения в упругой стадии.

Таким образом, использование мобильных автоматизированных систем мониторинга в задачах оценки грузоподъемности мостов приведет к уточнению расчетных моделей сооружений, более детальному анализу напряженно-деформированного состояния конструкций. Это обстоятельство позволит определять грузоподъемность с более полным учетом факторов нелинейности реальных конструкций, а конструктивные резервы сооружения могут быть определены с большей точностью.



## ЛИТЕРАТУРА

1. СП 79.13330-2012. Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний. Актуализир. ред. СНиПЗ.06.04-91; введ. 2013-01-01. – М.: ЦНИИС, 2012. – 84 с.
2. Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов. - М.: Транспорт, 1987.-272 с.
3. Руководство по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений мостов.-М.: Транспорт,-1989.
4. Временное руководство по определению грузоподъемности мостовых сооружений на автомобильных дорогах: ОДН 218.0.032-2003: утв. Росавтодором 14.03.03. – Екатеринбург: УралЮрИздат, 2008. – 108 с.
5. Валиев Ш.Н. Вероятностный подход к оценке грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений эксплуатируемых автодорожных мостов: автореф. дис. на соиск. учен.степ. канд. техн. наук: 05.23.15 / Ш.Н. Валиев. – Москва, 1996. – 21 с.
6. Белуцкий И.Ю. Резервы грузоподъемности и несущей способности сталебетонных пролетных строений: Монография. - Хабаровск: Изд-во Хабар, гос. техн. ун-та, 1999. - 175 с.
7. Панфилов С.Л. Учет конструктивных запасов при расчете грузоподъемности сталежелезобетонных пролетных строений // Научные труды ОАО ЦНИИС.-М.: ОАО ЦУНИИС,-2008.-243.-С. 14-20.
8. Бокарев С.А., Соловьев Л.Ю., Рогова Е.В. Методика оценки грузоподъемности сталежелезобетонных железнодорожных пролетных строений // Известия вузов. Строительство. №3 - 4 (603-604) 2009. С. 106 - 114.
9. Осипов В.О., Польшин М.В. Резервы грузоподъемности составных балок металлических мостов в упругопластической стадии работы // Труды I. Моск. гор. научн.-практ. конф. «Вузы-Наука-Город».: МИИТ, - 2005.-С.224 - 226.
10. Бокарев С.А., Ращепкин А.А. Совершенствование методики оценки грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов // Вестник СГУПС. Вып. 13.-Новосибирск: Изд-во СГПУС,-2006.-С. 133-146.
11. Быкова Н.М., Баранов Т.М. Развитие систем содержания мостов с учетом мониторинга геодинамических параметров // Транспортное строительство – 2013. – №4. – С. 17-20.
12. Глушков С.П., Донец Н.А. Идентификация повреждений в мостовых конструкциях на основе анализа отклика проходящих по нему транспортных средств // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, 2013. – №13 – С. 251-259.



**Bykova Natalya Mikhaylovna**

Irkutsk State Transport University, Russia, Irkutsk  
E-mail: bikovanm@mail.ru

**Baranov Timofey Mikhaylovich**

Irkutsk State Transport University, Russia, Irkutsk  
E-mail: baranov-87@ya.ru

**Tolstikov Evgeniy Olegovich**

Irkutsk State Transport University, Russia, Irkutsk  
E-mail: E.O.Tolstikov@yandex.ru

## **Development of the methodology for assessing the carrying capacity of bridges using mobile automated monitoring systems**

**Abstract.** This article provides an analysis of existing methods for determining the carrying capacity of bridges and ways of improving them. The authors propose a modernization of the technology assessment capacity long maintained bridges with the use of mobile automated monitoring systems installed for a certain period of time (from 1 to 6 months). This system will allow to record the reaction of various structural members of the bridge to traffic loads and the impact of geodynamic and climatic nature, as well as to predict and warn about the likely development of hazardous processes and, thus, provides for timely preventive safety and economic efficiency of operation of transport facilities. On the basis of data of mobile automated monitoring systems are determined by the coefficient of variation of operation of the computational model from the actual operation of the structures, which clarifies the capacity of the bridge. The technology used will clarify the calculation models of the bridge relative to the actual spatial and non-linear operation of its structures, to evaluate the carrying capacity of the bridge with a full complement of functional load factors, loading and environmental influences. The authors formulated the main provisions of the mobile automated system monitoring and the proposed scheme assessment of load capacity using this system.

**Keywords:** bridges; assessment of carrying capacity of bridges; monitoring system; constructive factor; account of external influences; numerical modeling; nonlinearity of the system

## REFERENCES

1. SP 79.13330-2012. Mosty i truby. Pravila obsledovaniya i ispytaniy. Aktualizir. red. SNIp3.06.04-91; vved. 2013-01-01. – М.: TsNIIS, 2012. – 84 s.
2. Rukovodstvo po opredeleniyu gruzopod"emnosti metallicheskih proletnykh stroeniy zhelezodorozhnykh mostov. - М.: Transport, 1987.-272 s.
3. Rukovodstvo po opredeleniyu gruzopod"emnosti zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy mostov.-М.: Transport,-1989.
4. Vremennoe rukovodstvo po opredeleniyu gruzopod"emnosti mostovykh sooruzheniy na avtomobil'nykh dorogakh: ODN 218.0.032-2003: utv. Rosavtodorom 14.03.03. – Ekaterinburg: UralYurIzdat, 2008. – 108 s.
5. Valiev Sh.N. Veroyatnostnyy podkhod k otsenke gruzopod"emnosti zhelezobetonnykh balochnykh proletnykh stroeniy ekspluatiruemykh avtodorozhnykh mostov: avtoref. dis. na soisk. uchen.step. kand. tekhn. nauk: 05.23.15 / Sh.N. Valiev. – Moskva, 1996. – 21 s.
6. Belutskiy I.Yu. Rezervy gruzopod"emnosti i nesushchey sposobnosti stalebetonnykh proletnykh stroeniy: Monografiya. - Khabarovsk: Izd-vo Khabar, gos. tekhn. un-ta, 1999. - 175 s.
7. Panfilov S.L. Uchet konstruktivnykh zapasov pri raschete gruzopod"emnosti stalezhelezobetonnykh proletnykh stroeniy // Nauchnye trudy OAO TsNIIS.-М.: OAO TsUNIIS,-2008.-243.-S. 14-20.
8. Bokarev S.A., Solov'ev L.Yu., Rogova E.V. Metodika otsenki gruzopod"emnosti stalezhelezobetonnykh zhelezodorozhnykh proletnykh stroeniy // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. №3 - 4 (603-604) 2009. S. 106 - 114.
9. Osipov V.O., Pol'shin M.V. Rezervy gruzopod"emnosti sostavnykh balok metallicheskih mostov v uprugoplasticheskoy stadii raboty // Trudy I. Mosk. gor. nauchn.-prakt. konf. «Vuzy-Nauka-Gorod».: MIIT, - 2005.-S.224 - 226.
10. Bokarev S.A., Rashchepkin A.A. Sovershenstvovanie metodiki otsenki gruzopod"emnosti metallicheskih proletnykh stroeniy zhelezodorozhnykh mostov // Vestnik SGUPSa. Vyp. 13.-Novosibirsk: Izd-vo SGPUS,-2006.-S. 133-146.
11. Bykova N.M., Baranov T.M. Razvitie sistem sodержaniya mostov s uchetom monitoringa geodinamicheskikh parametrov // Transportnoe stroitel'stvo – 2013. – №4. – S. 17-20.
12. Glushkov S.P., Donets N.A. Identifikatsiya povrezhdeniy v mostovykh konstruktsiyakh na osnove analiza otklika prokhodyashchikh po nemu transportnykh sredstv // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie. – Irkutsk, 2013. – №13 – S. 251-259.