

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2018, №4, Том 5 / 2018, No 4, Vol 5 <https://t-s.today/issue-4-2018.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/12SATS418.pdf>

DOI: 10.15862/12SATS418 (<http://dx.doi.org/10.15862/12SATS418>)

Статья поступила в редакцию 22.09.2018; опубликована 13.11.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Баранов Т.М., Толстиков Е.О. Оценка фактической работы пролетного строения железнодорожного моста с использованием мобильной системы мониторинга // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №4, <https://t-s.today/PDF/12SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/12SATS418

**For citation:**

Baranov T.M., Tolstikov E.O. (2018). The actual operation assessment of the railway bridge superstructure using a mobile monitoring system. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/12SATS418.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/12SATS418

УДК 624.21

**Баранов Тимофей Михайлович**

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия  
Доцент кафедры «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»

Кандидат технических наук

E-mail: [baranov-87@yandex.ru](mailto:baranov-87@yandex.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=926740](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=926740)

**Толстиков Евгений Олегович**

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия  
Аспирант кафедры «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»

E-mail: [E.O.Tolstikov@yandex.ru](mailto:E.O.Tolstikov@yandex.ru)

## Оценка фактической работы пролетного строения железнодорожного моста с использованием мобильной системы мониторинга

**Аннотация.** Отклонения в работе эксплуатируемых мостовых сооружений на железной дороге выявляются, как правило, только при появлении повреждений. При этом раннее обнаружение и прогноз развития повреждений может быть получен применением систем мониторинга. В статье приводятся методы и технологии применения мобильных систем мониторинга для оценки фактической работы металлического пролетного строения железнодорожного моста со сквозными главными фермами с ездой понизу. Рассмотрен аппаратный состав измерительного комплекса, основным средством измерений являются наклеиваемые электрические тензодатчики. Система мониторинга вела непрерывную запись показаний датчиков в течение 28 дней. Для обработки данных, получаемых системой мониторинга, разработано специализированное программное обеспечение, систематизирующие поступающую информацию. Анализ фактической работы пролетного строения проводится путем нахождения отношений напряжений в различных элементах пролетного строения, возникающих при одной и той же нагрузке. Такой подход позволил исключить фактор неизвестной интенсивности временной нагрузки. Приведены результаты мониторинга работы пролетного строения. Всего было проанализировано свыше 680 записей проездов поездов, что позволило провести статистическое описание данных. Теоретические значения отношений напряжений в элементах пролетного строения определены при помощи

аппарата линий влияния, полученных численным методом. Сделаны выводы о характере распределения деформаций пролетного строения под временной нагрузкой и о степени соответствия теоретическим расчетам. Определены конструктивные коэффициенты и величины их статистических разбросов, статистически вычислены фактические динамические коэффициенты. Конструктивные коэффициенты, вычисленные по отношениям напряжений, лежат в диапазоне 0,8-1,116. Динамические коэффициенты лежат в пределах 1,13 и не превышают расчетных значений.

**Ключевые слова:** системы мониторинга; автоматизированная обработка информации; испытания мостов; тензодатчики; железнодорожные мосты; стальные пролетные строения; конструктивные коэффициенты; динамические коэффициенты; численное моделирование пролетных строений

Повреждения стальных пролетных строений могут быть вызваны различными причинами, такими, как нестабильная работа опорных частей, геометрические отклонения несущих конструкций, нелинейные эффекты работы материала и соединений элементов [4].

Свод правил СП 274.1325800.2016 «Мосты. Мониторинг технического состояния»<sup>1</sup> устанавливает необходимость проведения непрерывного мониторинга уникальных, технически сложных или экспериментальных конструкций. Развитие приборной базы измерительных систем, а также методик и технологий проведения автоматизированных измерений различных механических процессов, последовательно повышают эффективность и достоверность получения информации о техническом состоянии искусственных сооружений на железных дорогах. Важными задачами мониторинга являются выявление причин появления и прогнозирование развития дефектов и повреждений конструкций, и оценка влияния эксплуатационных нагрузок и воздействий на сооружение [1]. В то же время, типовые пролетные строения мостов, за исключением особых случаев, в соответствии с требованиями рекомендаций СП 274.1325800.2016, в задачах системного автоматизированного мониторинга остаются не охваченными [2, 3].

Эмпирический прогноз развития повреждений, основанный на проведении периодических визуальных наблюдений в рамках системы содержания мостов, является весьма приближенным. Чаще всего, повреждения конструкций типовых пролетных строений на железных дорогах устраняются по мере их обнаружения без учета их раннего обнаружения и прогноза развития [5].

Использование мобильных систем мониторинга, устанавливаемых на определённый промежуток времени на типовые пролетные строения железнодорожных мостов, позволяет оценить фактическое распределение деформаций в пролетных строениях, расширить представление о вероятных причинах появления опасно нарастающих деформаций, обнаружить и предотвратить надвигающиеся отказы конструкций. Результаты таких наблюдений могут быть применены в расчетах грузоподъёмности пролетных строений. Одновременно с этим, мобильные системы мониторинга лишены недостатков «одноразовости» и могут применяться на нескольких конструкциях по очереди [6].

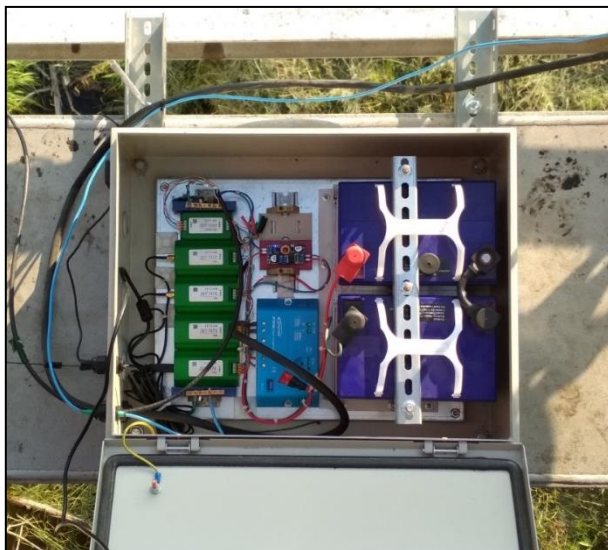
Мобильная автоматизированная система мониторинга (МАСМ) пролетных строений железнодорожных мостов разработана в ИрГУПС на основе оборудования фирмы «ZetLab» [7]. Система предназначена для оценки работы пролетных строений мостов со сквозными

---

<sup>1</sup> СП 274.1325800.2016 Мосты. Мониторинг технического состояния: М.: ЦНИИС, 2016. – 52 с.

главными фермами, представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из следующих элементов (рис. 1):

- сенсоры: датчики, состоящие из первичных преобразователей и интерфейсов (интеллектуальных датчиков);
- блок сбора и передачи информации;
- линии связи;
- автономное питание;
- сервер и программное обеспечение работы системы.



*Рисунок 1. Компоновка измерительного оборудования в защитном ящике (фото авторов)*

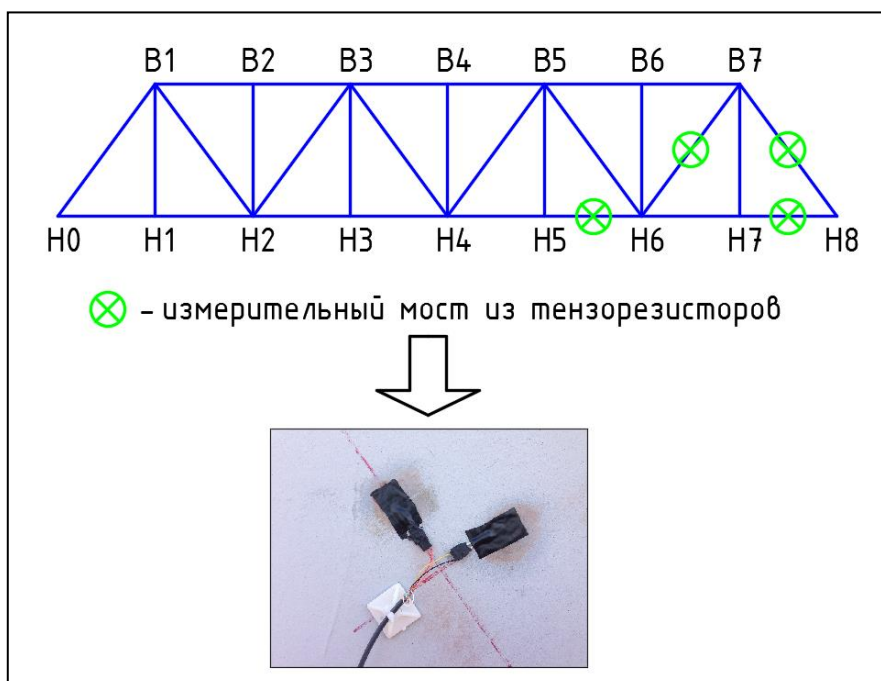
Для отработки методики оценки работы пролетного строения по результатам показаний МАСМ, система была установлена на пролетное строение железнодорожного моста через р. Иркут. Объект исследования расположен в городе Иркутске на линии Транссибирской железнодорожной магистрали между станциями Иркутск-Сортировочный и Иркутск-Пассажирский в районе пос. им. А.М. Горького (рис. 2). Схема моста 4x66,00 м. Пролетные строения металлические из сквозных главных ферм с ездой понизу выполнены по типовому проекту № 690. Опорные части стальные секторные, опоры бетонные массивные монолитные на фундаментах мелкого заложения на естественном основании.



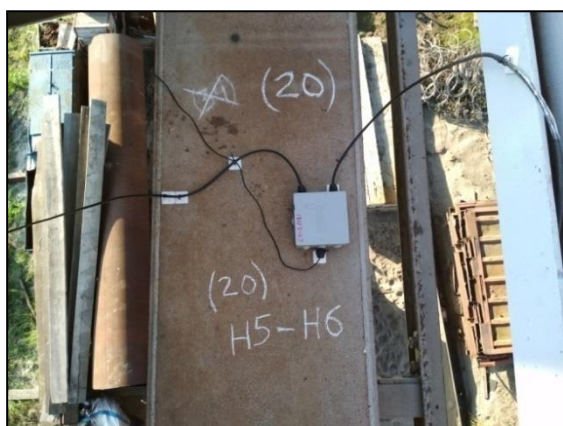
*Рисунок 2. Железнодорожный мост через р. Иркут (фото авторов)*

Мобильная автоматизированная система мониторинга была установлена на пролетное строение № 1 моста четного пути в июле 2018 года. В качестве сенсоров к элементам пролетного строения были прикреплены датчики линейных относительных деформаций (электрические тензодатчики), и термодатчик температуры наружного воздуха. Системой в тестовом режиме были охвачены следующие элементы пролетного строения: панели нижнего пояса Н5-Н6, Н7-Н8, раскос Н6-В7, порталный раскос Н8-В7 на левой и правой главных фермах (рис. 3, 4).

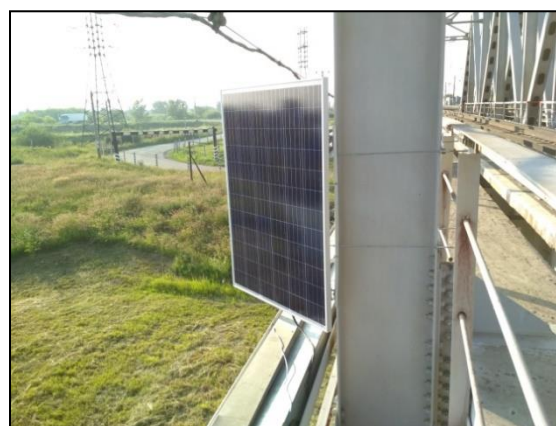
Автономное питание, поддерживающее независимую и бесперебойную работу системы мониторинга, обеспечивалось солнечной панелью и батареей аккумуляторов с соответствующей электронной обвязкой (рис. 5). Для защиты системы от наведения электромагнитных помех было организовано заземление и экранирование соединительных проводов. Достоверность работы системы определяется общей методологией проведения измерений и применением сертифицированного и поверенного оборудования.



*Рисунок 3. Схема расположения датчиков (рисунок авторов)*



*Рисунок 4. Расположение измерительного оборудования на панели нижнего пояса Н5-Н6 (фото авторов)*



*Рисунок 5. Солнечная панель, закрепленная на стойке правой фермы (фото авторов)*

Система мониторинга находилась в режиме сбора информации в период с 18 июля по 15 августа 2018 года. Период оцифровки сигнала тензодатчиков составлял 0,04 секунды. Ввиду особенностей автоматического запуска измерительного оборудования, а также, в целях контроля длительного изменения напряжений в элементах, система мониторинга была переведена в режим непрерывной записи показаний. В результате был накоплен значительный объем данных, содержащий информацию об изменении напряжений в элементах и температуры. Данные представляют собой непрерывные записи показаний тензодатчиков и термометра и, после некоторых преобразований, находятся в виде текстовых файлов.

Для обработки массива информации было разработано специализированное программное обеспечение «ZMASM», выполняющее следующие задачи:

1. анализ исходных непрерывных записей показаний и выборка данных, относящихся к проезду поезда по пролетному строению моста. Для достоверного определения «нулевых» показаний при отсутствии временной нагрузки в записи включались показания 30-40 секунд до и после нахождения временной нагрузки на пролетном строении;
2. регистрация выбранных записей по всем датчикам в базу данных MSSQL;
3. редактирование и просмотр базы данных, содержимого записей проездов;
4. отображение показаний датчиков на графиках, экспорт в другие программы, работа с заголовками записей проездов (рис. 6);
5. определение максимальных напряжений, динамических коэффициентов, систематизация и сохранение результатов.

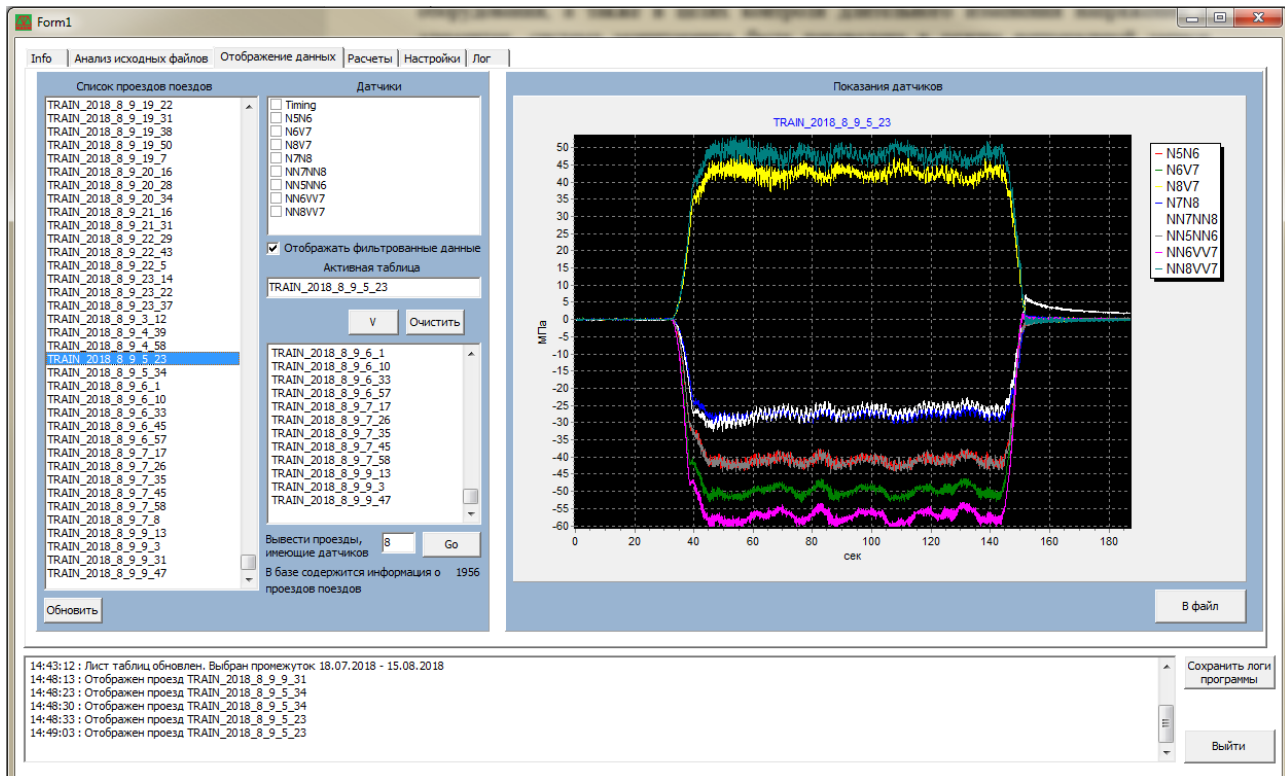


Рисунок 6. Рабочее окно функций просмотра данных мониторинга (скриншот авторов)

Мост через р. Иркут находится между двумя оживленными станциями Иркутск-Сортировочный и Иркутск-Пассажирский, движение по четному и нечетному пути

осуществляется довольно интенсивное. За время работы системы мониторинга создано 680 записей проездов нагрузки, содержащих показания 8-и тензометрических датчиков.

Автоматически при помощи программы «ZMASM» для всех записей показаний были вычислены максимальные положительные и отрицательные напряжения в элементах без учета динамического воздействия, а также соответствующие этим напряжениям динамические коэффициенты. Произведена статистическая обработка результатов.

В общем случае интенсивность проходящей нагрузки остается неизвестной, поэтому непосредственный анализ получаемых при мониторинге напряжений затруднен. Зато при одной и той же нагрузке представляется целесообразным найти отношения степени загруженности элементов между собой. Для этого выбирается элемент, нормальные напряжения в котором принимаются равные единице, а в остальных элементах – пропорционально пересчитываются. Данный элемент условимся называть «базовым» и присвоим ему индекс «z».

Базовым элементом может служить любой из элементов пролетного строения, линейно связанный напряжениями со всеми другими элементами пролетного строения. В дальнейших расчетах за базовый принят элемент нижнего пояса правой фермы Н7-Н8.

Обозначим отношения нормальных напряжений в  $i$ -м элементе к напряжениям в базовом элементе  $\frac{\sigma_i}{\sigma_z}$  через коэффициент  $\delta_{iz}$ . Тогда отношения осевых усилий  $F_i$  в элементах фермы, работающих только на осевые силы, будет равно:

$$\delta_{iz} = \frac{\sigma_i}{\sigma_z} = \frac{F_i A_z}{F_z A_i} = \frac{F_i}{F_z} n_A, \quad (1)$$

где  $n_A = \frac{A_z}{A_i}$  – отношение площадей поперечного сечения базового и  $i$ -го элемента.

Усилия в элементах фермы линейно зависят от интенсивности равномерно распределенной нагрузки по длине пролетного строения  $\nu$  по формуле:

$$F_i = \nu \omega_i, \quad (2)$$

где  $\omega_i$  – площадь, ограниченная линией влияния  $i$ -го элемента по табл. 1.

Конструктивный коэффициент, или коэффициент, показывающий расхождение между измеренными и прогнозируемыми результатами  $C_i$  может быть также выражен в относительных величинах через отношения усилий с учетом (1) и (2) [8]:

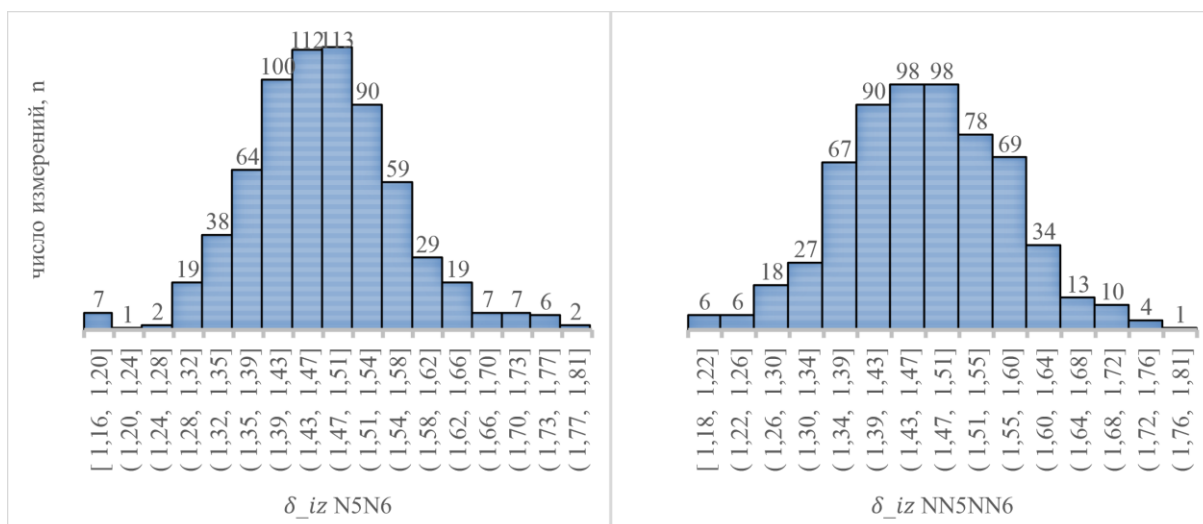
$$\begin{aligned} \frac{F_i}{F_z} &= \frac{\nu \omega_i}{\nu \omega_z} C_i, \\ C_i &= \frac{F_i \omega_z}{F_z \omega_i} = \frac{F_i}{F_z} \delta_{ip}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\delta_{ip}$  – отношение площадей линий влияния  $i$ -го элемента к базовому.

В итоге, расчетная формула конструктивного коэффициента:

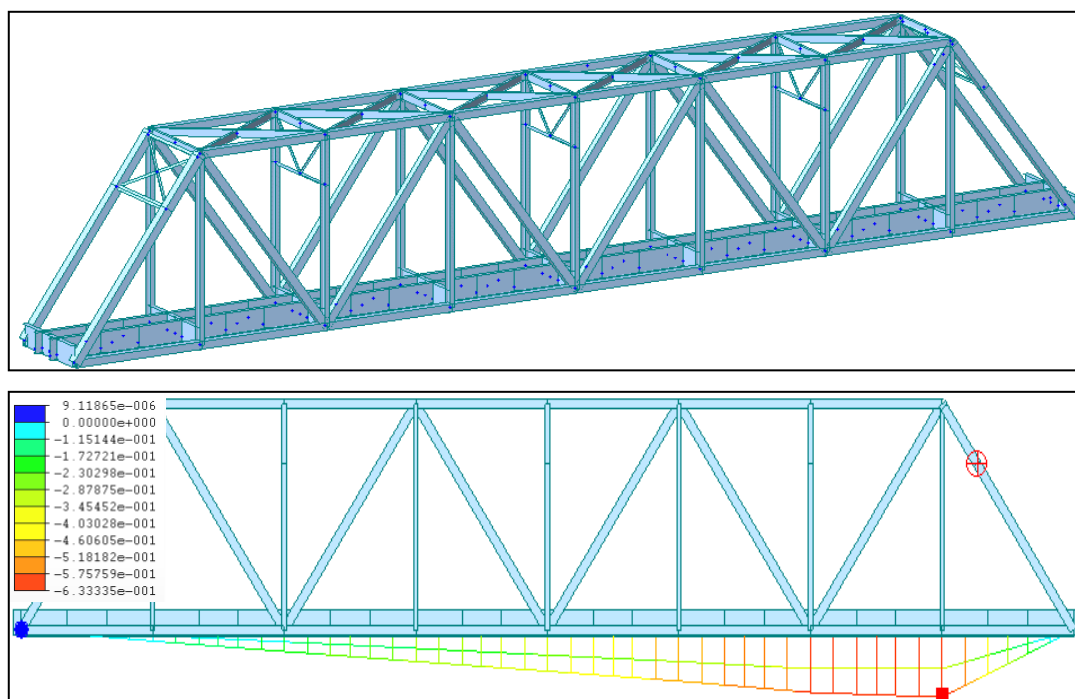
$$C_i = \frac{\delta_{iz}}{\delta_{ip} n_A}. \quad (4)$$

Результаты расчетов коэффициентов  $\delta_{iz}$  показали разброс значений, представленный на рис. 7. Статистические параметры разброса значений и определение доверительных интервалов произведено стандартными методами математической статистики [9] и сведено в таблицу 2.



**Рисунок 7.** Гистограммы распределения коэффициентов  $\delta_{iz}$  по двум параллельным элементам N5-N6 (рисунок авторов)

Для расчетов ожидаемой работы пролетного строения в программном комплексе Midas Civil была выполнена расчетная конечно-элементная модель соответствующего пролетного строения, по которой были определены линии влияния продольных сил в элементах (рис. 8).



**Рисунок 8.** Численная модель пролетного строения моста длиной 66,0 м и линия влияния продольной силы в элементах B7-N8 (рисунок авторов)

**Таблица 1**

**Значения площадей, ограниченных линиями влияния элементов фермы**

Порядковый номер элемента, №	Элемент фермы	Значения площадей линий влияния		Площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup>
		Положительные "+"	Отрицательные "-"	
1	B7-H8	–	35,229	275,6
2	H5-H6	36,345	–	254,9
3	H6-B7	26,395	0,161	187,2
4	H7-H8	17,283		222,7

Составлена авторами

**Таблица 2**

**Статистический расчет результатов мониторинга**

	N5N6	N6V7	N7N8	N8V7	NN5NN6	NN6VV7	NN7NN8	NN8VV7
Среднее значение	1,470	1,851	1,000	-1,526	1,470	2,103	0,956	-1,735
СКО, Sp	0,0958	0,1385	0,0000	0,1356	0,1013	0,1657	0,1057	0,1198
Число измерений, n	675	623	667	649	619	660	628	655
Стандартная ошибка, Sx	0,0037	0,0055	0,0000	0,0053	0,0041	0,0065	0,0042	0,0047
Коэффициент Стьюдента 99,73 %	3	3	3	3	3	3	3	3
Модуль довер. инт-ла Δx99 %	0,0111	0,0166	0,0000	0,0160	0,0122	0,0194	0,0127	0,0140
Коэффициент Стьюдента 95 %	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Модуль довер. инт-ла Δx95 %	0,007	0,011	0,000	0,010	0,008	0,013	0,008	0,009
Коэффициент вариации V, %	6,5	7,5	0,0	8,9	6,9	7,9	11,1	6,9
<b>Коэффициент <math>\delta_{iz}</math> (99 %)</b>	<b>1,47</b> <b>±0,011</b>	<b>1,851</b> <b>±0,017</b>	<b>1±0</b>	<b>-1,526</b> <b>±0,016</b>	<b>1,47</b> <b>±0,012</b>	<b>2,103</b> <b>±0,019</b>	<b>0,956</b> <b>±0,013</b>	<b>-1,735</b> <b>±0,014</b>
<b>Коэффициент <math>\delta_{iz}</math> (95 %)</b>	<b>1,47</b> <b>±0,007</b>	<b>1,851</b> <b>±0,011</b>	<b>1±0</b>	<b>-1,526</b> <b>±0,01</b>	<b>1,47</b> <b>±0,008</b>	<b>2,103</b> <b>±0,013</b>	<b>0,956</b> <b>±0,008</b>	<b>-1,735</b> <b>±0,009</b>

Составлена авторами

Распределение значений близко к нормальному закону, ошибки измерений носят случайный характер. Коэффициент  $\delta_{iz}$  определен при двух уровнях надежности показаний: 95 % и 99 % [9, 10]. Расчеты конструктивного коэффициента  $C_i$  по формулам (1), (4) приведены в таблице 3. Графически работа элементов пролетного строения представлена на рис. 9.

В целом, статистическое распределение конструктивных коэффициентов показало хорошую сходимость с расчетной моделью и равномерное распределение деформаций по элементам пролетного строения железнодорожного моста. Конструктивный коэффициент, как мера достоверности расчетной модели в виде линий влияния усилий, получен статистически обоснованным методом и находится в пределах 0,8-1,16. Разброс значений при 95 % уровне надежности показаний оказался в пределах 0,9 %.

Также система позволила определить и статистически обосновать значения динамических коэффициентов. Полученные при мониторинге значения приведены в таблице 4. Оказалось, что наибольшее динамическое воздействие испытывают крайние элементы нижнего пояса ферм: 13-15 % – для элементов N7-N8 против 10-11 % – для остальных элементов ферм. Расчетного значения динамического коэффициента, определенного Сводом правил, превышено не было (рис. 10).

**Таблица 3**

**Результаты определения конструктивного коэффициента**

Коэф.	N5N6	N6V7	N7N8	N8V7	NN5NN6	NN6VV7	NN7NN8	NN8VV7
$\delta_{iz}$	1,470	1,851	1,000	-1,526	1,470	2,103	0,956	-1,735
$\delta_{ip}$	2,103	1,527	1,000	-2,038	2,103	1,527	1,000	-2,038
$n_A$	0,874	1,190	1,000	0,808	0,874	1,190	1,000	0,808
$\delta_{iz\pm}$	0,007	0,011	0,000	0,010	0,008	0,013	0,008	0,009
$C_i$	0,800	1,019	1,000	0,926	0,800	1,158	0,956	1,053



Коэф.	N5N6	N6V7	N7N8	N8V7	NN5NN6	NN6VV7	NN7NN8	NN8VV7
$C_{\pm}$	0,004	0,006	0,000	0,006	0,004	0,007	0,008	0,006
$C_i$ при надежности 95 %	<b>0,8</b> $\pm 0,004$	<b>1,019</b> $\pm 0,006$	<b>1</b> $\pm 0$	<b>0,926</b> $\pm 0,006$	<b>0,8</b> $\pm 0,004$	<b>1,158</b> $\pm 0,007$	<b>0,956</b> $\pm 0,008$	<b>1,053</b> $\pm 0,006$

Составлена авторами

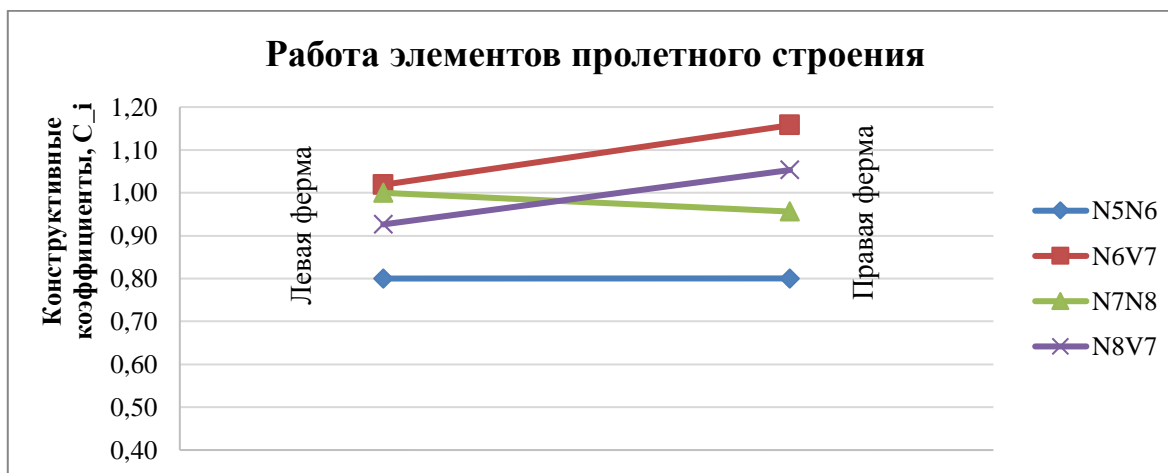


Рисунок 9. Распределение конструктивных коэффициентов по элементам фермы железнодорожного моста (рисунок авторов)

Таблица 4

Зафиксированные значения динамических коэффициентов

	N5N6	N6V7	N7N8	N8V7	NN5NN6	NN6VV7	NN7NN8	NN8VV7
Среднее значение	1,098	1,107	1,127	1,118	1,121	1,109	1,145	1,112
СКО, $S_n$	0,053	0,090	0,073	0,062	0,067	0,084	0,081	0,058
Число измерений, n	687	689	703	687	680	678	647	698
Стандартная ошибка, $S_x$	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002
Коэффициент Стьюдента 99,73 %	3	3	3	3	3	3	3	3
Модуль довер. инт-ла $\Delta x_{99}$ %	0,006	0,010	0,008	0,007	0,008	0,010	0,010	0,007
Коэффициент Стьюдента 95 %	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Модуль довер. инт-ла $\Delta x_{95}$ %	0,004	0,007	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,004
Коэффициент вариации V, %	4,8	8,1	6,5	5,5	5,9	7,6	7,1	5,2
Динам. коэфф. (99 %)	<b>1,098</b> $\pm 0,006$	<b>1,107</b> $\pm 0,01$	<b>1,127</b> $\pm 0,008$	<b>1,118</b> $\pm 0,007$	<b>1,121</b> $\pm 0,008$	<b>1,109</b> $\pm 0,01$	<b>1,145</b> $\pm 0,01$	<b>1,112</b> $\pm 0,007$
Динам. коэфф. (95 %)	<b>1,098</b> $\pm 0,004$	<b>1,107</b> $\pm 0,007$	<b>1,127</b> $\pm 0,005$	<b>1,118</b> $\pm 0,005$	<b>1,121</b> $\pm 0,005$	<b>1,109</b> $\pm 0,006$	<b>1,145</b> $\pm 0,006$	<b>1,112</b> $\pm 0,004$

Составлена авторами

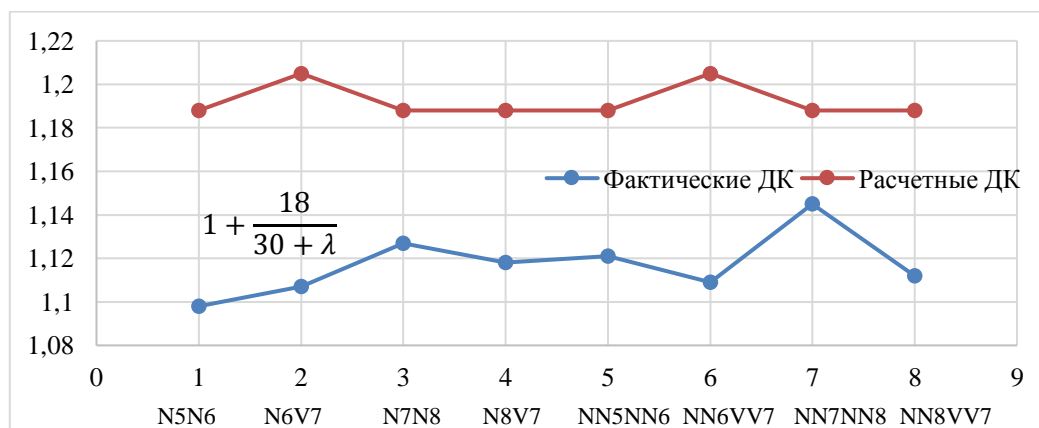


Рисунок 10. Сравнение значений динамического коэффициента (рисунок авторов)

## Заключение

Оценка фактической работы пролетных строений железнодорожных мостов напрямую влияет на прогнозирование и упреждение развития повреждений, а также на уточнение их грузоподъемности. Сложившаяся система содержания мостов предусматривает проведение испытаний конструкций для оценки фактической работы сооружений при расчетах их грузоподъемности при развитии повреждений, а сами работы по испытаниям связаны со значительными затратами, включающими перерыв в движении поездов по мосту. Однако испытания конструкций дают наиболее актуальную информацию о характере работы конструкций, о деформациях несущих элементов. Достоверность результатов проводимых работ обеспечивается соблюдением регламентирующих документов.

Мобильные системы мониторинга, включающие программно-аппаратные средства сбора и анализа статистических данных, позволяют снизить затраты на проведение испытаний мостов с использованием испытательной нагрузки. Проведение системного отслеживания параметров работы мостовых конструкций под проходящей нагрузкой в течение определенного времени позволяет оценивать разнообразие эффектов влияния временной нагрузки, выявлять специфику распределения деформаций несущих элементов.

Так, в качестве примера и отработки методики использования мобильной системы мониторинга для оценки фактической работы конструкций, выбрано пролетное строение железнодорожного моста со сквозными главными фермами. В течение 28 дней система мониторинга при помощи электрических тензочувствительных датчиков вела запись изменения линейных относительных деформаций восьми элементов ферм. Обработка полученных результатов проводилась специализированной программой «ZMASM».

В итоге было получено распределение пропорций усилий в элементах пролетного строения по отношению к базовому элементу, для которого усилия при проезде нагрузки принимались за единицу. Отношение измеренных отношений усилий к расчетным отношениям площадей линий влияния позволило определить конструктивные коэффициенты, которые составили 0,8-1,16 при разбросе значений на 95 % уровне надежности показаний в пределах 0,9 %. Динамические коэффициенты оказались ниже расчетных значений. В целом, результаты оценки фактической работы элементов пролетного строения согласуются с опытом испытаний данного типа пролетных строений, не имеющих скрытых повреждений и работающих в упругой стадии.

Таким образом, использование мобильных систем мониторинга может использоваться для оценки фактической работы конструкций пролетных строений железнодорожных мостов, заменяя собой полноценные испытания конструкций. Результаты оценки могут статистически закрепляться с заданным уровнем надежности показаний.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Нигматова О.И., Михалдыкин Е.С. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 2. Непрерывный мониторинг состояния мостовых сооружений // Транспортные сооружения. 2014, Т.1, № 2. <http://t-s.today/PDF/01TS214.pdf>.
2. Яшнов А.Н. Оценка технического состояния мостовых сооружений в системе мониторинга / А.Н. Яшнов, А.Ю. Рыбалов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2013. – № 3. С. 544-551.
3. Бондарь И.С. Диагностика и мониторинг балочных пролетных строений железнодорожных мостов / И.С. Бондарь, М.Я. Квашнин, С.А. Косенко // Политранспортные системы. Материалы IX Международной научно-технической конференции: Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения. 2017. С. 35-43.
4. Блохина Н.С. Проблема расчета строительных конструкций с учетом физической нелинейности и анизотропных свойств материала // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 2(33). Ст. 12. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>.
5. Осипов В.О. Долговечность металлических пролетных строений эксплуатируемых железнодорожных мостов. М.: Транспорт, 1982. – 287 с.
6. Быкова Н.М. Развитие методики оценки грузоподъемности мостов с использованием мобильных автоматизированных систем мониторинга / Н.М. Быкова, Т.М. Баранов, Е.О. Толстиков // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 2, No 4 (2015) <http://t-s.today/PDF/01TS415.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
7. Фейзханов У.Ф. Современные методы автоматизации измерительных и технологических процессов / У.Ф. Фейзханов, Д.А. Таликов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал): М.: Горная книга. 2007. – № 11. С. 334-338.
8. Панфилов С.Л. Учет конструктивных запасов при расчете грузоподъемности сталежелезобетонных пролетных строений // Научные труды ОАО ЦНИИС. – М.: ОАО ЦУНИИС, – 2008. – 243. – С. 14-20.
9. Вовк А.А. Основы общей теории статистики [Электронный ресурс]: учеб. – Электрон. дан. – Москва: УМЦ ЖДТ, 2006. – 240 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/35763>. – Загл. с экрана.
10. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомизд., 1991. – 303 с.

**Baranov Timofey Mikhaylovich**

Irkutsk state transport university, Irkutsk, Russia  
E-mail: baranov-87@yandex.ru

**Tolstikov Evgeniy Olegovich**

Irkutsk state transport university, Irkutsk, Russia  
E-mail: E.O.Tolstikov@yandex.ru

## **The actual operation assessment of the railway bridge superstructure using a mobile monitoring system**

**Abstract.** Deviations in the operation of the operated bridge structures on the railway are detected when damage occurs. At the same time, early detection and prognosis of damage progress can be obtained using monitoring systems. The article presents the methods and technologies for the use of mobile monitoring systems for assessing the actual operation of the metal superstructure of the railway bridge with the main driving trusses. The hardware of the measuring complex is considered, the main measuring instrument is the glued electrical strain gauges. The monitoring system kept a continuous record of sensor readings for 28 days. To process the data received by the monitoring system, specialized software has been developed that systematizes the incoming information. Analysis of the actual superstructure operation is carried out by finding the relationship of stresses in the various elements of the superstructure, arising under the same load. This approach allowed us to exclude the factor of unknown intensity of the temporary load. The results of monitoring the work of the superstructure are given. In total, over 680 train passage records were analyzed, which allowed for a statistical description of the data. The theoretical values of the relationship of stresses in the elements of the superstructure are determined using the apparatus of the influence lines obtained by a numerical method. The conclusions are made about the distribution of deformations of the superstructure under temporary load and about the degree of compliance with theoretical calculations. The construction factors and the values of their statistical scatter are determined, the actual dynamic factors are statistically calculated. The construction factors calculated from the stress ratios lie in the range of 0.8-1.116. Dynamic factors are within 1.13 and do not exceed the rated values.

**Keywords:** monitoring systems; automated information processing; bridge testing; strain gauges; railway bridges; steel superstructures; construction factors; dynamic factors; numerical simulation of superstructures

## REFERENCES

1. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Nigmatova O.I., Mikhaldykin E.S. (2014). Strength monitoring of bridges and features of its application. Part 2. Continuous monitoring of the state of bridge structures. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(1). Available at: <http://t-s.today/PDF/01TS214.pdf> (in Russian).
2. Yashnov A.N., Rybalov A.Yu. (2013). Evaluation of the technical condition of bridges in the monitoring system. *Modernization and scientific research in the transport complex*, 3, pp. 544-551. (in Russian).
3. Bondar' I.S., Kvashnin M.Y., Kosenko S.A. (2017). Diagnostika i monitoring balochnykh proletnykh stroeniy zheleznodorozhnykh mostov. [*Diagnostics and monitoring of beam span structures of railway bridges.*] Novosibirsk: Siberian State University of Communications, pp. 35-43.
4. Blokhina N.S. (2014). The problem of calculating building structures with regard to physical nonlinearity and anisotropic material properties. *Vestnik VGASU*, 2(33). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/> (in Russian).
5. Osipov V.O. (1982). Dolgovechnost' metallicheskih proletnykh stroeniy ehkspluatiruemykh zheleznodorozhnykh mostov. [*Durability of metal span structures of railway bridges in operation.*] Moscow: Transport, p. 287.
6. Bykova N.M., Baranov T.M., Tolstikov E.O. (2015). Development of methods for assessing the carrying capacity of bridges using mobile automated monitoring systems. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(2). Available at: <http://t-s.today/PDF/01TS415.pdf> (in Russian).
7. Feyzkhanov U.F., Talikov D.A. (2007). Modern methods of automation of measuring and technological processes. *Mining information and analytical bulletin*, 11, pp. 334-338. (in Russian).
8. Panfilov S.L. (2008). Uchet konstruktivnykh zapasov pri raschete gruzopod'emnosti stalezhelezobetonnykh proletnykh stroeniy. [*Accounting for structural reserves in the calculation of the load capacity of steel concrete span structures.*] Moscow: OAO TSUNIIS, p. 243, pp. 14-20.
9. Vovk A.A. (2006). Osnovy obshchey teorii statistiki. [*Fundamentals of the General Theory of Statistics.*] Moscow: UMTS ZHDT, p. 240, pp. 14-20. Available at: <https://e.lanbook.com/book/35763>.
10. Novitskiy P.V., Zograf I.A. (1991). Otsenka pogreshnostey rezul'tatov izmereniy. [*Estimation of measurement errors.*] Leningrad: Energoatomizd, p. 303.