

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

2019, №3, Том 6 / 2019, No 3, Vol 6 <https://t-s.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/23SATS319.pdf>

DOI: 10.15862/23SATS319 (<http://dx.doi.org/10.15862/23SATS319>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Яшнов А.Н., Снежков И.И. Опыт диагностики искусственных сооружений методом малых воздействий // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/23SATS319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/23SATS319

**For citation:**

Yashnov A.N., Snejkov I.I. (2019). Experience of diagnostics of engineering structures by the method of small impacts. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/23SATS319.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/23SATS319

*Грант № 3284008 ОАО «Российские железные дороги» на развитие научно-педагогических школ в области железнодорожного транспорта*

**УДК 624.21**

**ГРНТИ 67.01.81**

**Яшнов Андрей Николаевич**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Новосибирск, Россия  
Заведующий кафедрой «Мосты»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: yan@stu.ru  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=490584](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=490584)

**Снежков Игорь Иванович**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Новосибирск, Россия  
Старший научный сотрудник НИЛ «Мосты»  
E-mail: igor.i.s@mail.ru

## **Опыт диагностики искусственных сооружений методом малых воздействий**

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы диагностики искусственных сооружений в течение срока их службы. В качестве одного из перспективных методов выбран метод вибродиагностики по изменению динамических параметров (собственных частот и декрементов колебаний, амплитуд и форм колебаний). Проанализированы результаты различных исследований в области вибродиагностики состояния мостовых конструкций. Приведены результаты исследования влияния различных повреждений на динамические параметры конструкций с использованием конечно-элементных моделей. Обобщены данные многолетних исследований СГУПС по оценке технического состояния конструкций на основе измерения собственных частот колебаний. Ограниченность метода вибродиагностики по низшим формам колебаний связана с низкой чувствительностью и значительным влиянием различных факторов на получаемые результаты. Однако в некоторых случаях вибродиагностика конструкций при возбуждении колебаний малыми импульсными воздействиями может быть эффективной. Даны примеры вибродиагностики состояния сооружений. Вибродиагностика особенно актуальна при исследовании фактической динамической работы пешеходных мостов. Регулярная фиксация «цифровых динамических портретов» позволяет отслеживать изменения в техническом состоянии. Целесообразно применение методов вибродиагностики и при оценке эффективности усиления конструкций. В

заключении отмечено, что, используя рассмотренные методы, можно организовать систему периодического или непрерывного автоматизированного мониторинга технического состояния мостов. Это особенно актуально для предотвращения внезапных отказов технически сложных и уникальных сооружений, а также в случае серьезных повреждений несущих конструкций.

**Ключевые слова:** мост; пролетное строение; собственная частота колебаний; техническое состояние; диагностика; малые импульсные воздействия

Капитальные искусственные сооружения на железных дорогах должны служить не менее 50 лет, а фактический срок службы многих сооружений в настоящее время достигает 100 и более лет. Большие сроки службы приводят к тому, что сооружения накапливают различные повреждения и их техническое состояние может изменяться в широком диапазоне – от исправного до аварийного. Чтобы не допустить риска внезапного проявления негативных последствий ухудшения состояния в процессе эксплуатации искусственных сооружений осуществляют специальные надзорные мероприятия, обеспечивающие контроль и оценку состояния. В настоящее время преобладают визуальные методы оценки состояния мостов, но помимо визуального осмотра все шире применяют приборы неразрушающего контроля. Как правило, приборы неразрушающего контроля обеспечивают оценку в конкретной точке (или на ограниченном участке) конструкции. Состояние сооружения в целом остается неконтролируемым. В статье рассмотрены возможности диагностики сооружения по интегральным параметрам, к которым, как известно, можно отнести прогибы несущих конструкций и собственные частоты колебаний.

В начале 2000-х годов с созданием на базе СГУПС малогабаритной автоматизированной измерительной системы «Тензор М» [1], а затем и мобильной автоматизированной измерительной системы «Тензор МС» [2], появилась возможность оперативно получать информацию о динамических параметрах сооружений (собственных частотах и декрементах колебаний, амплитудах и формах колебаний). Так как известна зависимость частоты собственных колебаний конструкции от ее жесткости, по изменению частоты можно судить и о развитии повреждений в конструкции. Чувствительность датчиков разработанного оборудования позволяла выделять собственные частоты конструкций как при фоновых воздействиях, так и при малых импульсных воздействиях (прыжки человека или группы людей). Комплекс адаптирован под реальные сигналы с подавлением и фильтрацией шумов, а также для работы в суровых климатических условиях. Разработано специализированное программное обеспечение, как общее, так и для диагностики отдельных элементов мостов. Измерения могут проводить мостовые мастера при проведении осмотров сооружений. В случае предаварийного состояния может быть организован непрерывный автоматизированный режим измерения с передачей данных по мобильной связи (протокол GPRS) в центр диагностики. Технико-экономическая эффективность заключается в повышении эксплуатационной надежности сооружений, повышении объективности и оперативности оценки состояния. Для проведения визуального осмотра даже малого моста требуется 1...5 часов, а фиксация динамических параметров при вибродиагностике занимает 0,2...1 час. Таким образом, трудозатраты сокращаются не менее, чем в 5 раз, и при этом оценка не зависит от субъективных факторов. Но при использовании такого подхода возникает вопрос: насколько эффективно может быть определено техническое состояние по результатам вибродиагностики.

Расчетные исследования влияния различных повреждений на частоту собственных колебаний железобетонных балочных пролетных строений полной длиной 16,5 м под железнодорожную нагрузку [3; 4], выполненные в конечно-элементной среде показали следующее. Наиболее существенное влияние на изменение динамических характеристик оказывает изменение толщины балласта. Так для наименьшей принятой толщины балласта 15

см частота составляет 10,05 Гц (отклонение от нормы около +5,5 %), а для 1 м – 8,59 Гц (отклонение от нормы около -10,9 %). Другие отклонения дают существенно меньшие отклонения: нарушения прочностных характеристик материала в растянутой зоне балки пролетного строения вызывает отклонение частот собственных колебаний до 3 %, скол – около 1 %, трещины с большим раскрытием – менее 0,4 %. Также были смоделированы возможные неисправности опорных частей и их влияние на изменение собственных частот колебаний пролетного строения. Моделирование опорных частей осуществлено с учетом следующих факторов [4]:

- отклонения фактического расположения опорных частей от проектного;
- расстояния от низа пролетного строения до оси поворота балансиров опорных частей;
- состояния опорных частей, когда подвижная опорная часть под воздействием различных внешних факторов перестает обеспечивать свободу перемещений конца пролетного строения.

Расчеты показали, что последний фактор оказывает наиболее существенное влияние на собственные частоты колебаний пролетного строения, при этом значительные изменения происходят для вертикальных колебаний, менее существенные для горизонтальных, а изменением характеристик крутильных колебаний можно пренебречь.

Верификация разработанной модели была осуществлена на одном из железнодорожных путепроводов в г. Новосибирске. Проведенные исследования динамических параметров позволили сделать вывод (рисунок 1), что его основные несущие конструкции находятся в хорошем техническом состоянии, что совпадает и с результатами обследования, выполненного специалистами Западно-Сибирской дороги по традиционным методикам. Однако последующие измерения на различных железобетонных мостах показали и ограниченность возможностей вибродиагностики по собственным частотам низших форм колебаний. Очевидно, что, например, увеличение собственного веса конструкции (увеличение толщины балласта) приводит к уменьшению частоты собственных колебаний, а увеличение трения в опорных частях, наоборот, к увеличению частоты. Соответственно, возможен случай, когда фиксируемые частоты будут соответствовать исправному состоянию при одновременном наличии отклонений в толщине балласта и заклинивании опорных частей.



Рисунок 1. Определение собственных частот колебаний (составлено авторами)

В целом практика показывает, что частоты низших форм колебаний имеют значительный разброс даже для железобетонных пролетных строений, изготовленных по одному типовому проекту. Например, в исследовании [5] показано насколько сильно собственные частоты колебаний зависят от температуры. С другой стороны, частота колебаний только незначительно уменьшается при наличии дефектов в сооружении, т. е. является малочувствительной характеристикой и ее использование для мониторинга малоперспективно. Однако ввиду простоты и доступности метода вибродиагностики по низшим формам колебаний исследования в этом направлении продолжают [6–8]. Методы спектрального анализа виброграмм на основе дискретного преобразования Фурье с выделением фактической величины собственной частоты низшей моды разрабатывают в ТГАСУ под руководством В.М. Картопольцева [9–11]. Перспективным является применение вейвлет-анализа для определения мест повреждения в пролетных строениях [12]. Естественно, что и за рубежом методы вибродиагностики также находят применение [13–16].

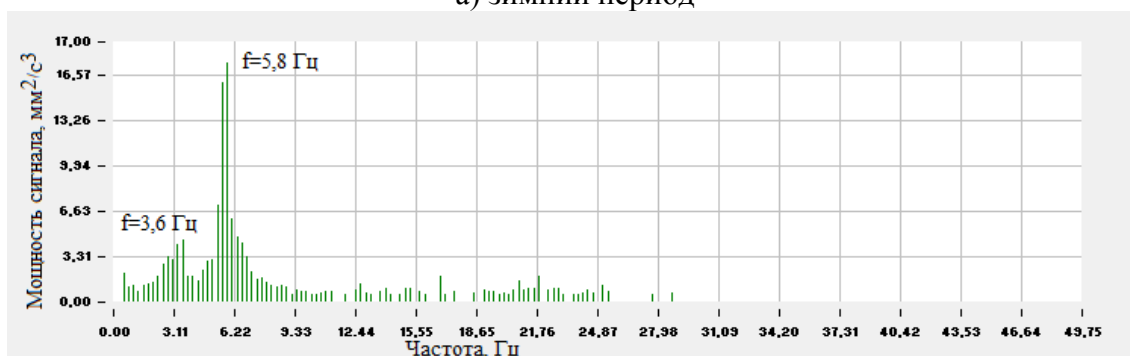
Как показал опыт исследований СГУПС, существуют серьезные сложности в практической реализации методик вибродиагностики для железобетонных конструкций, но для других типов мостовых сооружений такие методики могут давать положительный результат. Например, для определения повреждений в сталежелезобетонных пролетных строениях эффективным оказалось применение вибродиагностики с использованием импульсного воздействия сосредоточенного груза малой массы (метод малых воздействий) [17]. Была установлена четкая зависимость между наличием повреждений в железобетонной плите и изменением величины первой собственной частоты. Для металлических пролетных строений метод малых импульсных воздействий при вибродиагностике также может быть эффективным при определении наличия повреждений [7]. Но здесь следует заметить, что для правильной оценки результатов необходимо учитывать сезонность проведения диагностики не только для пролетных строений с ездой на балласте, для которых смерзание балласта приводит к существенному увеличению жесткости конструкций, но и для других типов мостового полотна. В этом случае существенное влияние на получаемый спектр частот будет оказывать состояние грунта основания. Например, сотрудниками НИЛ «Мосты» были измерены собственные частоты колебаний конструкций железнодорожного путепровода в г. Чите в зимний и летний период. Результирующие спектрограммы для одной из промежуточных опор показаны на рисунке 2. Хорошо видно отличие собственных частот на низших модах, которое достигает 30 % (зимой – 3,6 Гц, летом – 2,5 Гц). Можно также заметить, что существенно отличается и вид спектрограммы на более высоких частотах.

Учитывая существенное влияние различных факторов на частоту низших мод вибродиагностика по изменению собственных частот возможна только при фиксации и учете всех факторов, могущих оказать влияние на результаты, а целесообразна – при наличии ряда последовательных измерений, позволяющих отслеживать изменения в динамических параметрах конструкции. Поэтому в НИЛ «Мосты» СГУПС развивают методы вибродиагностики с созданием «цифровых динамических портретов» состояния (рисунок 3).

Вибродиагностика особенно актуальна при исследовании фактической динамической работы пешеходных мостов. Как известно, актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* (СП 35.13330.2012) регламентирует нежелательные частоты по низшей моде свободных колебаний, при которых возможно возникновение резонансных явлений. Но, например, в условиях Сибири требуется устройство крытой галереи на пешеходных мостах, каркас которой может существенно изменить собственные частоты колебаний. Эти изменения сложно учесть расчетными методами и они, как правило, не учитываются проектными организациями. Возникает необходимость определения фактических динамических параметров, что может быть выполнено с помощью вибродатчиков-акселерометров.

Рассмотрим для примера определение динамических характеристик при вводе в эксплуатацию пешеходного моста в г. Тюмени. Сооружение имеет один пролет полной длиной 48,2 м и расчетной длиной 47,0 м. Балочное металлическое пролетное строение изготовлено по индивидуальному проекту. Пролетное строение скомпоновано из двух несущих двутавровых балок, объединенных в нижней части металлической ортотропной плитой прохода. Проходящая часть расположена на расстоянии 0,444 м от уровня низа конструкции. Ортотропная плита в поперечном направлении состоит из двух блоков, объединенных по поперечным балкам накладками и высокопрочными болтами, а по листу настила – посредством сварки. Расстояние между осями главных балок – 3,44 м, высота главных балок – 1,63 м. Толщина листа настила ортотропной плиты – 12 мм. Лист подкреплен продольными ребрами размерами 120x12 мм и поперечными сплошностенчатыми балками, прикрепленными к поясам главных балок посредством сварки. Толщина стенок главных балок – 12 мм, верхнего пояса – переменная, от 20 мм в опорном сечении до 25 мм в четвертях и 32 мм в середине пролета. Расстояние от уровня проходной части до верха балок – 1,20 м.

а) зимний период



б) летний период

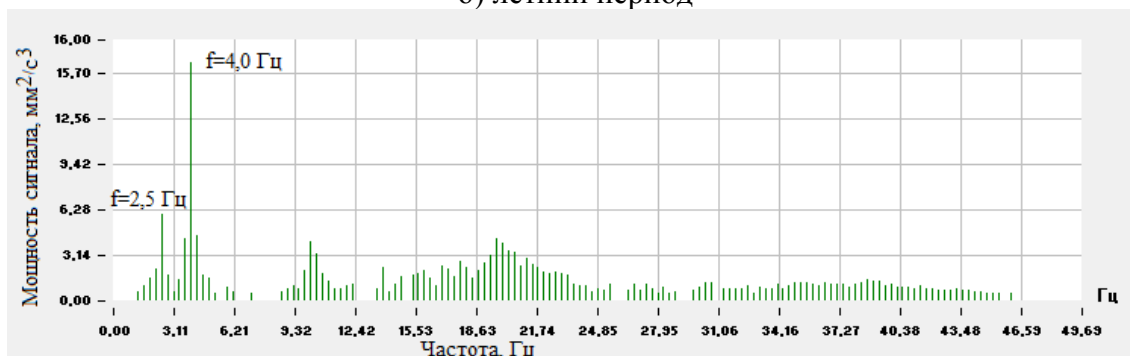


Рисунок 2. Спектрограммы собственных частот колебаний (составлено авторами)

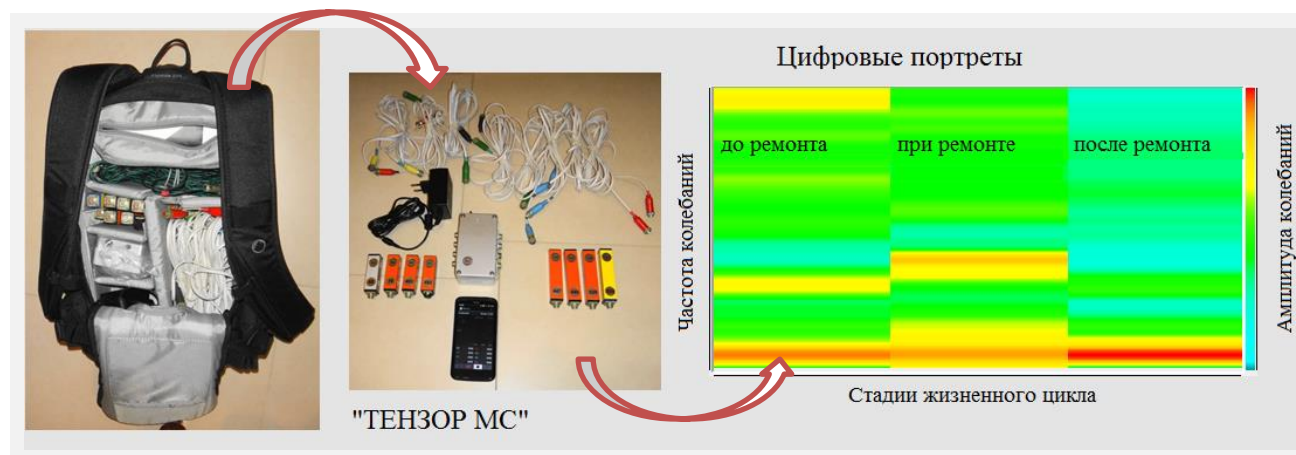
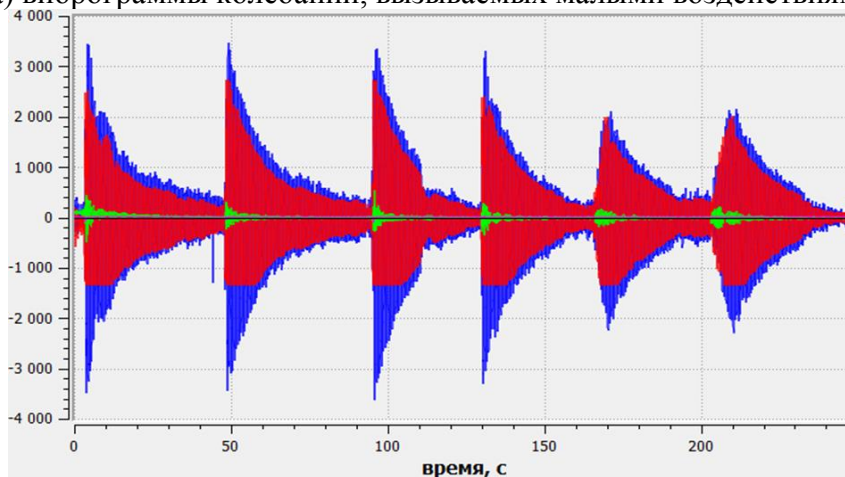


Рисунок 3. Получение «цифровых портретов» состояния (составлено авторами)

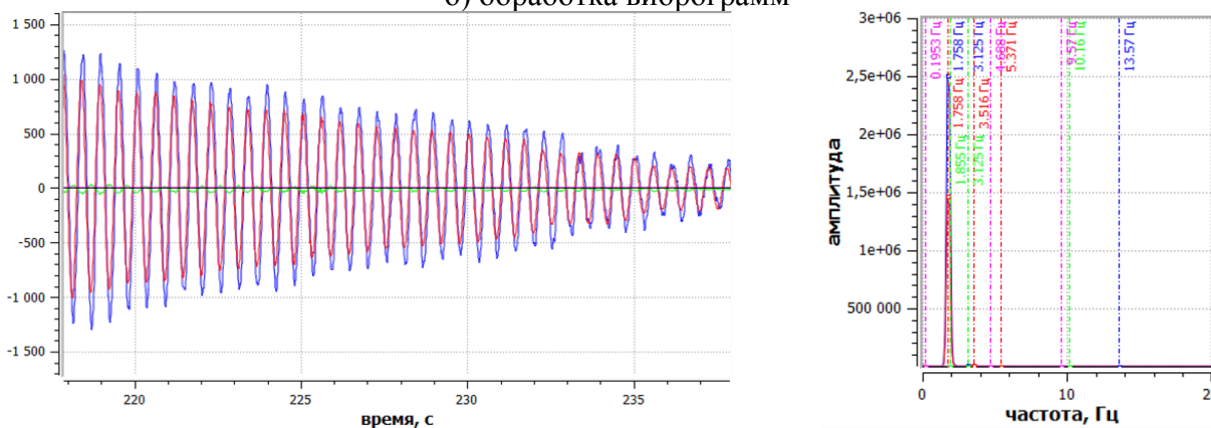


Динамические испытания пролетного строения проводились дважды – до и после монтажа монолитного поликарбоната защитной галереи. Фрагмент полученных результатов приведен на рисунке 4, а итоговые результаты измерения частот сведены в таблицу 1. Низшая форма колебаний является вертикальной, четко выделяется соответствующая частота, мощность сигнала которой значительно выше остальных (см. рис. 4б). Кроме того, анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что независимо от места возбуждения колебаний в отдельных конструкциях фиксируются колебания на низшей частоте, характерной для пролетного строения, но с существенно меньшими амплитудами. Заметим также, что при низших формах колебаний конструкции отсутствуют крутильные колебания (см. рис. 4б – фазы вертикальных колебаний по левому и правому краям прохожей части совпадают). Отмечен низкий, всего 0,04, логарифмический декремент колебаний пролетного строения. Интерес с точки зрения анализа результатов вибродиагностики представляет тот факт, что до монтажа защитной галереи фактическая частота колебаний, равная 1,76 Гц, соответствовала расчетным предпосылкам. Но и после монтажа галереи при существенном увеличении массы пролетного строения измеренная частота собственных колебаний пролетного строения составила также 1,76 Гц (расчетная частота должна была снизиться до 1,65 Гц и выйти за пределы запрещенного нормами диапазона). Причина – в неучете жесткости второстепенных конструкций при расчете. Была составлена расчетная модель в комплексе Midas Civil, учитывающая включение защитного сооружения в совместную работу с главными балками, и определены расчетные частоты собственных колебаний пролетного строения на двух рассмотренных этапах строительства. Расчеты показали, что полное включение в работу поликарбонатного покрытия может изменить частоту собственных колебаний в диапазоне до 0,3 Гц.

а) виброграммы колебаний, вызываемых малыми воздействиями



б) обработка виброграмм



**Рисунок 4.** Виброграммы колебаний, вызываемых малыми воздействиями (составлено авторами)

Таблица 1

**Фактические частоты низших форм колебаний пролётного строения**

Вертикальные колебания (правая главная балка)		Вертикальные колебания (левая главная балка)		Горизонтальные поперечные колебания		Горизонтальные продольные колебания	
частота, Гц	мощность сигнала, мм <sup>2</sup> /с <sup>3</sup>	частота, Гц	мощность сигнала, мм <sup>2</sup> /с <sup>3</sup>	частота, Гц	мощность сигнала, мм <sup>2</sup> /с <sup>3</sup>	частота, Гц	мощность сигнала, мм <sup>2</sup> /с <sup>3</sup>
<b>1.76</b>	<b>2509495</b>	<b>1.76</b>	<b>1471096</b>	1.86	2040	4.69	0.2132
3.13	5611	3.52	7460	3.13	1279	9.57	0.0966
13.57	585	5.37	2589	10.16	53	14.26	0.0418
5.47	265	13.57	886	32.32	22	18.95	0.0158
4.79	262	7.23	435	14.75	13	31.25	0.0123

*Разработано авторами*

Таким образом, несмотря на то, что собственная частота колебаний пролётного строения по проекту при увеличении массы должна была уйти за пределы запрещенного действующими нормами диапазона 1,66...2,22 Гц, этого не произошло из-за увеличения жесткости конструкции. Поэтому для обеспечения удовлетворительной динамической работы конструкции необходимо проведение специальных мероприятий (увеличение колеблющейся массы, увеличение жесткости конструкции или устройство специальных демпферов).

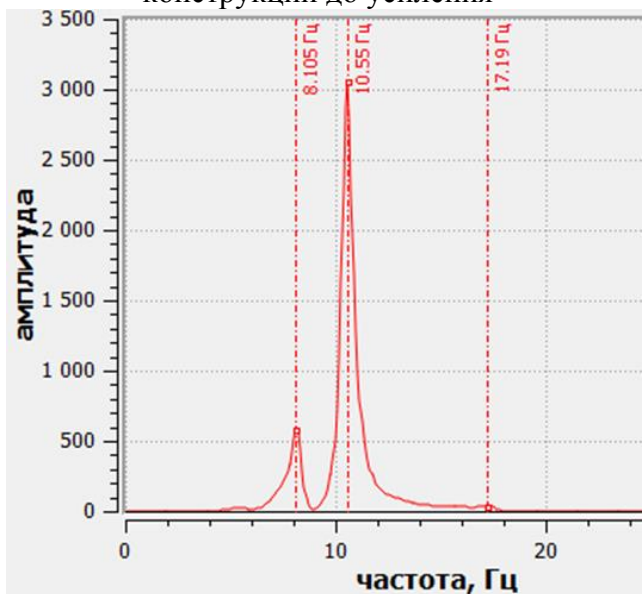
Целесообразно применение методов вибродиагностики и при оценке эффективности усиления конструкций. Примером может служить диагностика по динамическим параметрам пролётного строения до и после усиления балок на автодорожном мосту в Новосибирской области [18]. Диагностика была выполнена до и после усиления балок полимерными композиционными материалами (ПКМ). Для фиксации динамических параметров были использованы акселерометры измерительного комплекса «Тензор МС». Датчики устанавливали в середине расчётного пролёта на проезжей части поперёк оси движения (слева у ограждения безопасности, по оси проезжей части, справа у ограждения безопасности). Полученные спектрограммы приведены на рисунке 5. Заметим, что расхождения между экспериментальными значениями соответствующих форм, зафиксированные слева у ограждения безопасности, по оси проезжей части и справа у ограждения безопасности не превышает 1,1 %. Экспериментальные значения частоты собственных вертикальных колебаний после усиления балок пролётного строения ПКМ возросли более чем на 15 % для первой и второй формы (см. рис. 5). Такой результат при первом рассмотрении может показаться неожиданным, но он может быть объяснен следующим образом.

Действительно, частота собственных колебаний в первую очередь зависит от жёсткости пролётного строения и его массы. Вес композиционного материал усиления незначителен по сравнению с весом пролётного строения и, поэтому, не определяет изменение частоты собственных колебаний пролётного строения. Жесткость железобетонного пролётного строения, зависит от напряжённо – деформированного состояния, и после образования трещин в растянутой зоне она значительно расходится с жесткостью, определённой как для сплошного упругого тела. При усилении же происходит не только наклейка холстов или ламелей композиционного материала, но и проникновение клея в трещины за счет капиллярных явлений. Таким образом, при усилении композитами фактически происходит восстановление целостности сечения железобетонного элемента и, соответственно, его геометрических характеристик.

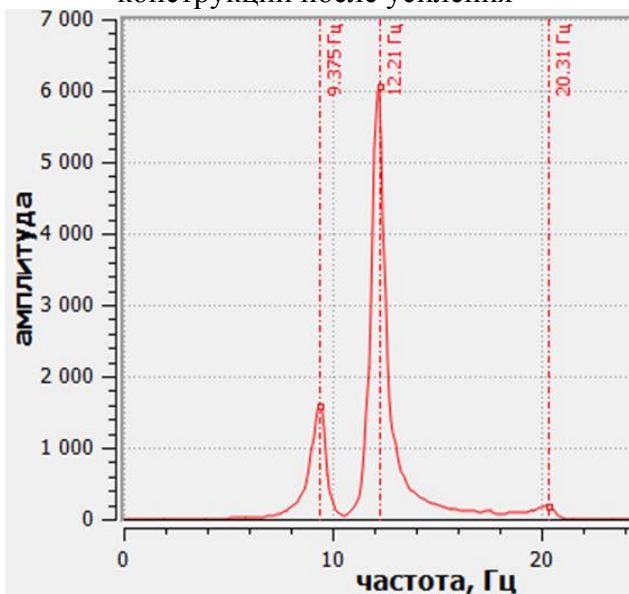
Кроме собственных частот по характерным участкам затухания на виброграммах, полученных в процессе диагностики, был определён логарифмический декремент колебаний. Средние значения логарифмического декремента получены величиной 0,22 для неусиленного пролётного строения и 0,25 для пролётного строения после его усиления ПКМ [18]. Таким

образом, значение логарифмического декремента после усиления пролётного строения ПКМ на основе углеродного волокна увеличилось на 13,6 %, что говорит о том, что усиление влияет и на увеличение диссипации энергии. Интересно, что и величина динамического коэффициента для усиленной конструкции оказалась меньше, чем для не усиленной. Проведенные специалистами СГУПС экспериментальные исследования показали, что информативными параметрами для контроля состояния конструкций, усиленных ПКМ могут служить собственные частоты низших форм колебаний, логарифмический декремент и динамический коэффициент.

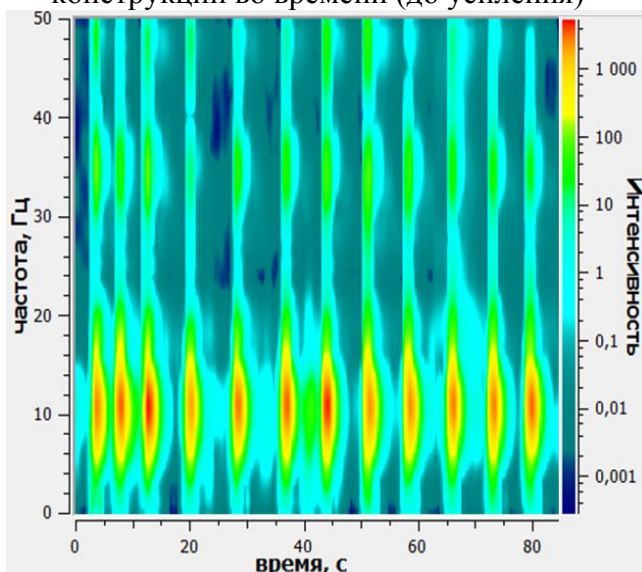
а) итоговые спектры собственных частот конструкции до усиления



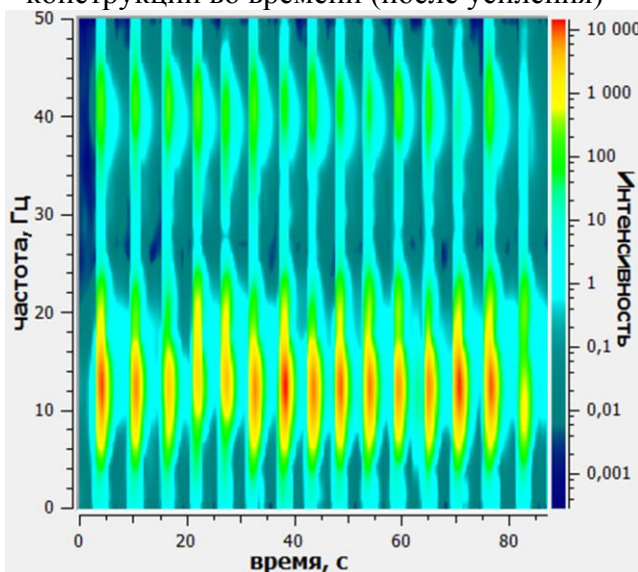
б) итоговые спектры собственных частот конструкции после усиления



в) развертка спектров колебаний конструкции во времени (до усиления)



г) развертка спектров колебаний конструкции во времени (после усиления)



**Рисунок 5. Спектрограммы колебаний железобетонного пролётного строения до и после усиления [18]**

Использование методов вибродиагностики позволяет организовать и систему периодического или непрерывного автоматизированного мониторинга технического состояния мостов, что особенно актуально для технически сложных и уникальных сооружений, а также в случае серьезных повреждений несущих конструкций для предотвращения внезапных отказов.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Бокарев С.А. Перспективы применения карманных компьютеров при строительстве и эксплуатации мостов / С.А. Бокарев, П.С. Мочалкин, И.И. Снежков, А.Н. Яшнов // Вестник мостостроения. – 2004. – № 3–4. – С. 37–39.
2. Бокарев С.А. Малогабаритные автоматизированные системы для диагностики ИССО / С.А. Бокарев, И.И. Снежков, А.Н. Яшнов и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 9. – С. 25.
3. Чаплин И.В. Мониторинг напряженно-деформированного состояния железобетонных преднапряженных пролетных строений железнодорожных мостов / И.В. Чаплин // Научные труды общества железобетонщиков Сибири и Урала. – 2016 г. – С. 64–69.
4. Слюсарь А.В. Совершенствование методики диагностики железобетонных пролетных строений по результатам исследования их динамической работы / А.В. Слюсарь, А.Н. Яшнов // Научные труды Общества железобетонщиков Сибири и Урала. Вып.8. – Новосибирск: НГАСУ, 2004. – С. 83–85.
5. Слюсарь А.В. Моделирование железобетонных пролетных строений в конечно-элементной среде / А.В. Слюсарь, А.Н. Яшнов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2005. – Вып.12. – С. 135–138.
6. Курбацкий Е.Н. Исследование отклика балочных мостов от воздействия поезда / Е.Н. Курбацкий, И.С. Бондарь, М.Я. Квашнин // Мир транспорта. – 2015. – Том 13 № 3 – С. 58–71.
7. Бондарь И.С. Измерение деформаций балочных пролетных строений мостов / Бондарь И.С. // Мир транспорта. – 2016. – № 6(67) – С. 36–51.
8. 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. – 2017. – С. 35–43.
9. Картопольцев В.М. Влияние дефектов проезжей части на изменение динамических характеристик пролетных строений мостов / В.М. Картопольцев, А.В. Картопольцев, Б.Д. Колмаков // Вестник ТГАСУ. – 2015. – № 6. – С. 156–164.
10. Картопольцев В.М. Определение динамических напряжений и деформаций в сталежелезобетонных мостах / В.М. Картопольцев, Димо Кисов, А.В. Картопольцев, Б.Д. Колмаков // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 5. – С. 178–193.
11. Картопольцев В.М. Динамические испытания сталежелезобетонных мостов с учетом влияния дефектов проезжей части / В.М. Картопольцев, В.М. Сафронов, А.В. Картопольцев, Б.Д. Колмаков // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 3. – С. 194–204.
12. Глушков, С.П. Идентификация повреждений в мостовых конструкциях на основе анализа их колебательных процессов / С.П. Глушков, Л.Ю. Соловьев, Н.А. Донец // Вестник ТГАСУ. – 2011. – № 4. – С. 209–220.

13. A.E. Aktan, F.N. Catbas, K. Grimmelsman, M. Pervizpour, J. Curtis, K. Shen, X. Qin. A theory of health monitoring for highway bridge // Proc. First Int. Conf. on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2002, Barcelona, 14–17 July, 2002.
14. A.P.C. Larocca, R.E. Schaal, M.C. Santos. Monitoring of dynamic behavior of suspension bridge on high-frequency GPS-data // GPS World. April, 2005.
15. H.-M. Koh, S.P. Chang, S.-K. Kim, S.-Y. Kim, W.J. Kim. Development and application of health monitoring system for bridge in Korea // Proc. First Int. Conf. on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2002, Barcelona, 14–17 July, 2002.
16. Wenzel H. Health monitoring of bridges / H. Wenzel. – Chichester: John Wiley & Sons, 2009. – 621 p.
17. Цветков Д.Н. Исследование динамического отклика сталежелезобетонных пролетных строений с различными повреждениями в плите // Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте: Сб. докладов VII Междунар. конф. по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте. – СПб: ПГУПС, 2008. – С. 192–193.
18. Слепец В.А. Экспериментальные исследования динамических параметров балочных железобетонных пролётных строений автодорожных мостов, усиленных полимерными композиционными материалами на основе углеродного волокна / В.А. Слепец, И.В. Чаплин // Научное обозрение. – 2017. – № 2. – С. 20–29.

**Yashnov Andrey Nikolaevich**

Siberian transport university, Novosibirsk, Russia  
E-mail: yan@stu.ru

**Snejkov Igor Ivanovich**

Siberian transport university, Novosibirsk, Russia  
E-mail: igor.i.s@mail.ru

## Experience of diagnostics of engineering structures by the method of small impacts

**Abstract.** The problems of diagnostics of engineering structures during their service life are considered. As one of the promising methods, the method of vibration diagnostics for changing dynamic parameters (natural frequencies and decrements of oscillations, amplitudes and forms of oscillations) was chosen. The results of various studies in the field of vibration diagnostics of bridge structures are analyzed. The results of the study of the influence of various damages on the dynamic parameters of structures using finite element models are presented. Summarized data of long-term studies of the Siberian transport University to evaluate the technical state of structures based on measurement of natural oscillation frequency. The limitation of the method of vibration diagnostics for lower forms of vibration is associated with low sensitivity and significant influence of various factors on the results. However, in some cases, vibration diagnostics of structures under excitation of oscillations by small pulse effects can be effective. Examples of vibrodiagnostics of the state of structures are given. Vibrodiagnostics is particularly relevant in the study of the actual dynamic work of pedestrian bridges. Regular fixation of "digital dynamic portraits" allows you to track changes in technical condition. It is advisable to use methods of vibration diagnostics and in assessing the effectiveness of strengthening structures. In conclusion, it is noted that using the methods considered, it is possible to organize a system of periodic or continuous automated monitoring of the technical condition of bridges. This is especially important to prevent sudden failures of technically complex and unique structures, as well as in the case of serious damage to the load-bearing structures.

**Keywords:** bridge; superstructure; orthotropic steel deck; pavement; asphalt; stress-strain state; fatigue strength

## REFERENCES

1. Bokarev S.A., Mochalkin P.S., Snezhkov I.I., Yashnov A.N. (2004). Prospects for the use of handheld computers in the construction and operation of bridges. *Bulletin of bridge building*, 3–4, pp. 37–39 (in Russian).
2. Bokarev S.A., Snezhkov I.I., Yashnov A.N. and etc. (2007). Small-sized automated systems for the diagnosis of ISSO. *Path and track facilities*, 9, p. 25 (in Russian).
3. Chaplin I.V. (2016). Monitoring napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh prednapryazhennykh proletnykh stroeniy zheleznodorozhnykh mostov. [*Monitoring the stress-strain state of reinforced concrete prestressed spans of railway bridges.*] pp. 64–69.
4. Slyusar' A.V., Yashnov A.N. (2004). Sovershenstvovanie metodiki diagnostiki zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy po rezul'tatam issledovaniya ikh dinamicheskoy raboty. [*Improving the diagnostic technique for reinforced concrete spans according to the results of the study of their dynamic work.*] Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, pp. 83–85.

5. Slyusar' A.V., Yashnov A.N. (2005). Modelirovanie zhelezobetonnykh proletrykh stroeniy v konechno-ehlementnoy srede. [*Modeling reinforced concrete spans in a finite element medium.*] Novosibirsk: Publishing House Siberian State University of Railway Engineering, pp. 135–138.
6. Kurbatskiy E.N., Bondar' I.S., Kvashnin M.Ya. (2015). Investigation of the response of beam bridges from the effects of the train. *Transport World*, 3(13), pp. 58–71 (in Russian).
7. Bondar' I.S. (2016). Deformation measurement of beam spans of bridges. *World of transport*, 6(67), pp. 36–51 (in Russian).
8. Bondar' I.S., Kvashnin M.Ya., Kosenko S.A. (2017). Diagnostika i monitoring balochnykh proletrykh stroeniy zheleznodorozhnykh mostov. [*Diagnostics and monitoring of beam spans of railway bridges.*] Novosibirsk: Publishing House Siberian State University of Railway Engineering, pp. 35–43.
9. Kartopol'tsev V.M., Kartopol'tsev A.V., Kolmakov B.D. (2015). The influence of roadway defects on the change in the dynamic characteristics of bridge spans. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 6, pp. 156–164 (in Russian).
10. Kartopol'tsev V.M., Dimo Kisov, Kartopol'tsev A.V., Kolmakov B.D. (2016). Determination of dynamic stresses and deformations in steel-reinforced concrete bridges. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 5, pp. 178–193 (in Russian).
11. Kartopol'tsev V.M., Safronov V.M., Kartopol'tsev A.V., Kolmakov B.D. (2016). Dynamic tests of steel-reinforced concrete bridges taking into account the influence of defects of the carriageway. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 3, pp. 194–204 (in Russian).
12. Glushkov S.P., Solov'ev L.Yu., Donets N.A. (2011). Damage identification in bridge structures based on the analysis of their oscillatory processes. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 4, pp. 209–220 (in Russian).
13. Aktan A.E., Catbas F.N., Grimmelsman K., Pervizpour M., Curtis J., Shen K., Qin X. (2002). *A theory of health monitoring for highway bridge*. Barcelona: IABMAS 2002.
14. Larocca A.P.C., Schaal R.E., Santos M.C. (2005). Monitoring of dynamic behavior of suspension bridge on high-frequency GPS-data. *GPS World*.
15. Koh H.-M., Chang S.P., Kim S.-K., Kim S.-Y., Kim W.J. (2002). *Development and application of health monitoring system for bridge in Korea*. Barcelona: IABMAS 2002.
16. Wenzel H. (2009). *Health monitoring of bridges*. Chichester: John Wiley & Sons, p. 621.
17. Tsvetkov D.N. (2008). Issledovanie dinamicheskogo otklika stalezhelezobetonnykh proletrykh stroeniy s razlichnymi povrezhdeniyami v plite. [*Investigation of the dynamic response of steel-reinforced concrete spans with various damages in the slab.*] Saint Petersburg: Petersburg State University of Railway Engineering, pp. 192–193.
18. Slepets V.A., Chaplin I.V. (2017). Experimental studies of the dynamic parameters of reinforced concrete beam spans of road bridges reinforced with polymer composite materials based on carbon fiber. *Scientific review*, 2, pp. 20–29 (in Russian).