

И.С. Бондарь^{1*}, П.Г. Хардигов², Д.Т. Алдекеева¹, Р.С. Имамбаева³

¹Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан,

²ОАО «РЖД» Октябрьская железная дорога», Санкт-Петербург, Россия,

³Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА), Алматы, Казахстан,

Информация об авторах:

Бондарь Иван Сергеевич – кандидат технических наук (ВАК РФ), Ph.D (МОН РК), ассоциированный профессор, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Хардигов Павел Германович – магистр технических наук, начальник участка ОАО «РЖД» Октябрьская железная дорога», г. Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-1033-5272>, e-mail: lgntksm@mail.ru

Алдекеева Динара Танашбековна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: aldekeeva69@mail.ru

Имамбаева Райхан Сальтайевна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА), Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-0806-3308>, e-mail: rimambayeva@mail.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДА КОЛЕБАНИЙ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ

Аннотация. *Представлена методика экспресс-диагностики балочных пролетных строений, позволяющая определять техническое состояние балочных пролетных строений железнодорожных мостов. Методика основана на анализе отклика конструкции на малое импульсное воздействие – «прыжок человека». Применение данной методики позволит увеличить сроки эксплуатации и уменьшение затрат по текущему содержанию железнодорожных мостов.*

Ключевые слова: *методика экспресс-диагностики, балочные пролетные строения, колебания, балка, мосты.*

Введение

Нормами проектирования [1, п. 5.6.5] регламентируются периоды собственных колебаний для балочных разрезных металлических и сталежелезобетонных пролетных строений железнодорожных мостов, а также пешеходных и городских мостов на стадиях расчета и монтажа.

Собственные частоты колебаний пролетного строения, регистрируемые под проходящей нагрузкой, будут существенно отличаться от расчетных частот из-за наличия в этот момент на конструкции значительной переменной массы подвижного состава. Учитывая, что погонная масса металлических пролетных строений старых норм проектирования лежит в пределах 0,5-1,0 тс/м, а распределенная нагрузка от обращающегося в настоящее время подвижного состава может превышать 10 тс/м, зафиксировать истинные собственные частоты колебаний конструкций под движущимся поездом не представляется возможным. Поэтому собственные частоты колебаний конструкций определяются либо по «хвостам» опытных виброграмм (осциллограмм) после ухода нагрузки с про-

летного строения, либо, при необходимости проведения экспресс-диагностики, для возбуждения процесса колебаний конструкции прикладывается импульсное воздействие сосредоточенного груза малой массы в середине пролетного строения (метод малых импульсных воздействий – «прыжок человека»).

Материалы и методы

Экспресс-диагностика балочных железобетонных или металлических пролетных строений железнодорожных мостов производится на основании анализа отклика конструкции на малое импульсное воздействие (прыжок человека). Данная методика предназначена для периодической инструментальной диагностики и оценки технического состояния балочных пролетных строений железнодорожных мостов, а также может использоваться при испытаниях эксплуатируемых, реконструируемых и новых (недавно построенных) мостов.

Основные положения предлагаемой методики соответствуют требованиям нормативных документов [2-8].

Вибродиагностика технического состояния балочных железобетонных и металлических мостов (рис. 1) по собственным периодам колебаний пролетных строений, позволяет определять изменения в работе сооружения в целом, то есть указывает на наличие дефектов, связанных с нарушением целостности железобетонных пролетных строений, или на сколы, выколы, отсутствие заклепок, ослабление высокопрочных болтов, нарушение продольных и диагональных связей в металлических пролетных строениях.



Рисунок 1 – Блок-схема мониторинга железнодорожных мостов [12]

Основным оценочным критерием является период собственных колебаний по низшей форме металлического или железобетонного балочного пролетного строения. Измеряемой величиной является перемещение (прогиб) балочных пролетных строений.

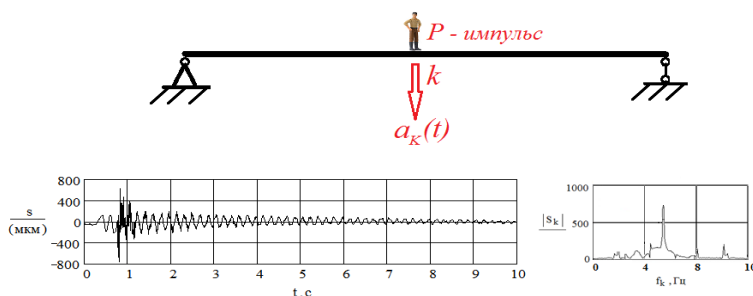
Количественным признаком наличия дефектов в железобетонной или металлической балке пролетного строения является возрастание периода собственных колебаний низшей формы по сравнению со значениями для бездефектной конструкции железнодорожного моста.

Для выполнения измерений рекомендуется применять ВПАК, в которых для записи колебаний в качестве первичных преобразователей используются высокочувствительные сейсмоприемники [9-11].

Алгоритм проведения вибродиагностики балочных пролетных строений железнодорожных мостов заключается в следующем:

- 1) предварительный расчет конструкций железнодорожного моста аналитическим методом и МКЭ для определения мест установки элементов ВПАК;
- 2) установка сейсмометров посередине балочного железобетонного или металлического пролетного строения и закрепление оснастки ВПАК на железнодорожном мосту;
- 3) установка антивандальной защиты сейсмометров от внешних воздействий окружающей среды (продолжительных осадков) и человеческого фактора, для длительного использования – мониторинга;
- 4) проведение измерений при импульсных воздействиях малой массы (прыжках одного человека);
- 5) сбор данных и сохранение виброграмм (осциллограмм) на жестком диске компьютера для обработки сигналов, специально разработанной программой;
- 6) обработка полученных экспериментальных результатов измерений;
- 7) определение периода колебаний конструкции и относительных деформаций;
- 8) сравнение величин измеренных и расчетных колебаний периода балочных пролетных строений с учетом дополнительных факторов (толщины балластного слоя либо количества мостовых брусев);
- 9) заключение о техническом состоянии балочного пролетного строения железнодорожного моста;
- 10) демонтаж сейсмометров и элементов оснастки ВПАК.

Схемы проведения испытаний с фрагментами осциллограмм и графиков спектральной плотности приведены на рисунке 2.



Графики функции СПМ

Рисунок 2 – Схемы проведения испытаний и обработка полученных сигналов:

$a_k(t)$ – измеренный сигнал, P – импульсное воздействие (прыжок) [12]

Результаты и обсуждение

Для определения периода колебаний проводится обработка записанных виброграмм с использованием программного обеспечения «ДИНАМИК», создано при непосредственном участии автора данной работы [12].

В таблице 1 в качестве примера приведены результаты измерений периодов колебаний балочных железобетонных пролетных строений, полученные экспериментальным путем при проведении испытаний железнодорожных мостов с разной длиной пролетных строений, расположенных на магистральных линиях АО «НК «ҚТЖ». Периоды определялись для двух значений, до устранения дефекта – увеличение слоя балласта под шпалой $h_0 = 0,65$ м и после, при нормальной толщине балласта под шпалой $h_0 = 0,25$ м.

Таблица 1 – Периоды колебаний балочных железобетонных пролетных строений, полученных экспериментально

Расчетный пролет, м	6,0		9,4		13,5		16,5		16,6	
	0,25	0,65	0,25	0,65	0,25	0,65	0,25	0,65	0,25	0,65
Толщина балласта, м	0,25	0,65	0,25	0,65	0,25	0,65	0,25	0,65	0,25	0,65
Вес ПС, кН	720	1100	910	1400	1070	1640	1330	2040	2130	3080
Период, Гц	0,052	0,075	0,066	0,088	0,085	0,101	0,148	0,199	0,161	0,201

При проведении вибродиагностики в качестве параметров, характеризующих техническое состояние пролетных строений, предлагаются: период собственных колебаний балочных металлических и железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов.

Результатом использования методик является оценка технического состояния балочных пролетных строений железнодорожных мостов, определяемая двумя видами состояния – *бездефектное* (когда балочное пролетное строение не имеет дефекты, снижающие его грузоподъемность, т.е. работоспособность) и *дефектное* (когда по результатам оценки обследования и испытания, измеренные значения: собственных частот (периодов), коэффициента относительного демпфирования и относительных деформаций (напряжений), выполненных в соответствии с требованиями нормативных документов можно диагностировать наличие дефекта).

Заключение

Оценку технического состояния проводят, сравнивая величины периодов, полученных по результатам натурных испытаний параметров колебания балочных пролетных строениях моста, со значениями периодов, полученных расчетом на моделях бездефектных балочных пролетных строений. Полученные данные используют для составления динамического паспорта объекта.

Литература:

1. СП РК 3.03-112-2013 Мосты и трубы. Астана, 2013.
2. Руководство по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов, МПС. М.: «Транспорт», 1989, 127.
3. Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов, МПС. М.: «Транспорт», 1987, 272.
4. Руководство по пропуску подвижного состава по железнодорожным мостам / Главное управление пути МПС РФ. М.: «Транспорт», 1993, 368.
5. Справочник базовых цен на проектные и обследовательские работы для капитального ремонта и реконструкции инженерных сооружений железнодорожного транспорта. М.: ГУП Гипротранспуть, 2003, 50.
6. СНиП 3.06.07-86. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. М., 1987, 40.
7. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. М., 2011.
8. СП 79.13330.2012. Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний. Актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86.
9. Паримбетов А.А. Экспериментальные исследования воздействия малых масс на металлическую балку железнодорожного моста. Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава и студентов посвященной 135-летию М. Тынышпаева «Транспорт в XXI веке: состояние и перспективы»: - Алматы, 2016, 610-614.
10. Зайцев А.А. Обнаружение дефектов мостов методами вибродиагностики. Труды IX Международной научно-практической конференции «Транспорт Евразии XXI века: Современные цифровые технологии на рынке транспортных и логистических услуг»: - Алматы, 2018, 460-465.
11. Квашин М.Я. Идентификация дефектов в балочных железобетонных пролетных строениях мостов. Сб. научн. тр. VII Междунар. научн.-практ. конф. «Автомобильные дороги и транспортная техника: проблемы и перспективы развития» КазАДИ им. Л.Б. Гончарова: - Алматы, 2019, 67-72.
12. Бондарь И.С. Вибродиагностика балочных пролетных строений железнодорожных мостов: дисс. канд. тех. наук. М., 2019, 146.

References:

1. SP RK 3.03-112-2013 Mostyi i trubyy [SP RK 3.03-112-2013 Bridges and pipes]. Astana, 2013. (in Russ.)
2. Rukovodstvo po opredeleniyu gruzopod'emnosti zhelezobetonnyih proletnyih stroeniy zheleznodorozhnyih mostov [Manual for determining the load capacity of reinforced concrete superstructures of railway bridges] MPS. M.: «Transport», 1989, 127 p. (in Russ.)
3. Rukovodstvo po opredeleniyu gruzopod'emnosti metallicheskih proletnyih stroeniy zheleznodorozhnyih mostov [Manual for determining the load capacity of reinforced concrete superstructures of railway bridges] MPS. M.: «Transport», 1987, 272 p. (in Russ.)
4. Rukovodstvo po propusku podvizhnogo sostava po zheleznodorozhnyim mostam / Glavnoe upravlenie puti MPS RF [Guide to the passage of rolling stock on railway bridges / The Main Directorate of the Way of the Ministry of Transport of the Russian Federation] M.: «Transport», 1993, 368 p. (in Russ.)
5. Spravochnik bazovyih tsen na proektnyie i obsledovatel'skie raboty dlya kapitalnogo remonta i rekonstruktsii inzhenernyih sooruzheniy zheleznodorozhного транспорта [Reference book of basic prices for design and survey work for capital repairs and reconstruction of engineering structures of railway transport] M.: GUP Giprotransport, 2003, 50 p. (in Russ.)
6. SNiP 3.06.07-86. Mostyi i trubyy. Pravila obsledovaniy i ispyitaniy [Snip 3.06.07-86. Bridges and pipes. Rules of surveys and tests] M., 1987, 40 p. (in Russ.)

7. SP 35.13330.2011. *Mostyi i trubyi. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.05.03-84** [SP 35.13330.2011. *Bridges and pipes. Updated version of SNIp 2.05.03-84**] M., 2011. (in Russ.)
8. SP 79.13330.2012. *Mostyi i trubyi. Pravila obsledovaniya i ispyitaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 3.06.07-86* [SP 79.13330.2012. *Bridges and pipes. Rules of inspection and testing. Updated version of SNIp 3.06.07-86*] (in Russ.)
9. Parimbetov A.A. *Eksperimentalnyie issledovaniya vozdeystviya malyih mass na metallicheskiyu balku zhelezodorozhnogo mosta* [Experimental studies of the effect of small masses on the metal beam of a railway bridge] *Sbornik nauchnyih trudov professorsko-prepodavatelskogo sostava i studentov posvyaschennoy 135-letiyu M. Tyinyishpaeva «Transport v XXI veke: sostoyanie i perspektivy» = nsport in the XXI century: state and prospects*: - Almaty, 2016, 610-614. (in Russ.)
10. Zaytsev A.A. *Obnaruzhenie defektov mostov metodami vibrodiagnostiki* [Detection of bridge defects by vibration diagnostics methods] *Trudyi IH Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Transport Evrazii XHI veka: Sovremennyye tsifrovyye tehnologii na rynke transportnyih i logisticheskikh uslug» = roceedings of the IX International Scientific and Practical Conference "Transport of Eurasia of the XXI century: Modern digital technologies in the market of transport and logistics services"*: Almaty: KazATK im. M. Tyinyishpaeva, 2018, 460-465. (in Russ.)
11. Kvashnin M.Ya. *Identifikatsiya defektov v balochnyih zhelezobetonnyih proletnyih stroeniyah mostov* [Identification of defects in girder reinforced concrete bridge spans] *Sbornik nauchnyih trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Avtomobilnyie dorogi i transportnaya tehnika: problemyi i perspektivy razvitiya» KazADI im. L.B. Gancharova = Collection of scientific tr. VII International Scientific and Practical conference "Highways and transport equipment: problems and prospects of development" KazADI named after L.B. Goncharov*: – Almaty, 2019, 67-72. (in Russ.)
12. Bondar I.S. *Vibrodiagnostika balochnyih proletnyih stroeniy zhelezodorozhnyih mostov* [Vibrodiagnostics of girder superstructures of railway bridges]: dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Moskva: 2019, 146. (in Russ.)

**И.С. Бондарь^{1*}, П.Г. Хардигов²,
Д.Т. Алдекеева¹, Р.С. Имамбаева³**

¹Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., Қазақстан,

²АҚ «РТЖ» Октябрь темір жол», Санкт-Петербург қ., Ресей,

³Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы), Алматы қ., Қазақстан,

Авторлар туралы мәліметтер:

Бондарь Иван Сергеевич – техника ғылымдарының кандидаты (РФ ЖАК), Ph.D (ҚР БҒМ), қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Хардигов Павел Германович – техника ғылымдарының магистрі, «Ресей темір жолдары» АҚ Октябрь темір жолы учаскесінің бастығы, Санкт-Петербург, Ресей

<https://orcid.org/0000-0002-1033-5272>, e-mail: lgnktsm@mail.ru

Алдекеева Динара Танашбекқызы – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: aldekeeva69@mail.ru

Имамбаева Райхан Салтайқызы – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-0806-3308>, e-mail: rimambayeva@mail.ru

КӨПІРЛЕРДІҢ АРАЛЫҚ АРҚАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ ДІРІЛДЕУ МЕЗГІЛІН АНЫҚТАУ ӘДІСТЕМЕСІ

Аңдатпа. Теміржол көпірлері аралық құрылымдарының техникалық жағдайын анықтауға мүмкіндік беретін аралық құрылымдардың экспресс-диагностика әдістемесі ұсынылған. Әдістеме конструкцияның кіші импульстік әсеріне жауап беру талдауына негізделген. Бұл әдістемені қолдану эксплуатация уақытын көбейтуге және теміржол көпірлерінің қалыпты жағдайын сақтауға кететін шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: экспресс-диагностика әдістемесі, аралық арқалық құрылымдар, көпірлер.

**I.S. Bondar^{1*}, P.G. Khardikov²,
D.T. Aldekeyeva¹, R.S. Imambaeva³**

¹Academy of Logistics and Transport, c. Almaty, Kazakhstan,

²A JSC "October Railway", St. Petersburg, Russia,

³Kazakh Head Architecture and Civil Engineering Academy, c. Almaty, Kazakhstan,

Information about the authors:

Bondar Ivan Sergeevich – Candidate of Technical Sciences VAK RF, Ph.D MES RK, Associate Professor ALiT, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Kvashnin Mikhail Yakovlevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of ALiT, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>, e-mail: kvashnin_mj55@mail.ru

Aldekeyeva Dinara Tanashbekovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>, e-mail: aldekeyeva69@mail.ru

Imambaeva Raikhan Saltaevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh Head Academy of Architecture and Civil Engineering, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-0806-3308>, e-mail: rimambayeva@mail.ru

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PERIOD OF VIBRATIONS OF BEAM SPAN STRUCTURES OF BRIDGES

Abstract. *The technique of express diagnostics of girder spans is presented, which makes it possible to determine the technical condition of girder spans of railway bridges. The technique is based on the analysis of the response of the structure to a small impulse effect – "a person's jump". Application of this technique will increase the service life and reduce costs for the current maintenance of railway bridges.*

Keywords: *Methodology of expressdiagnostics, beam flight structures, bridges.*