

Е.Н. Курбацкий^{1,a}, И.С.Бондарь^{2,b}, М.Я Квашнин^{2,c}, П.Т. Ахметова^{2,d}

¹ Московский государственный университет путей сообщения МГУПС (МИИТ), г. Москва, Россия, ^adynamic@gmail.ru

²Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан, ^bivan_sergeevich_08@mail.ru, ^ckvashnin_mj55@mail.ru, ^dpatam67@mail.ru

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Аннотация. В данной статье приведены некоторые результаты инструментальных измерений напряженно-деформированного состояния железобетонного балочного пролётного строения железнодорожного моста под эксплуатационными нагрузками при проходе различной подвижной нагрузки. Полученные результаты могут использоваться при дальнейшем мониторинге за подобными сооружениями на магистральных линиях АО «НК «КТЖ» и при составлении алгоритмов задач выявления повреждений в конструкциях мостов.

Аңдатпа. Бұл мақалада түрлі жылжымалы попутный транспорт для перевозки кезде аспаптық өлшеулердің кейбір нәтижелері бетон Балкен теміржол кернеулі-деформацияланған күйін жедел жүктемелер ұшып көпір сипаттайды. Алынған нәтижелер «КТЖ» ҰК «АҚ басты желілері ұқсас құрылымдар үшін одан әрі мониторинг пайдаланылуы мүмкін және жасау міндеттері алгоритмдер көпір конструкцияларын ақауларын анықтау.

Abstract. In this article, some results of instrumental measurements of the stress-strain state of a reinforced concrete beam span of a railway bridge under operational loads during passage of various moving loads are presented. The obtained results can be used for further monitoring of similar facilities on the trunk lines of JSC "NC" KTZh "and in the compilation of algorithms for the detection of damage in bridge designs.

Ключевые слова: железнодорожный мост, балочное пролетное строение, напряженно-деформированного состояния.

Түйінді сөздер: қондырма темір жол көпірі сәулелер, кернеулі-деформацияланған күйін.

Keywords: railway bridge, beam span structure, stress-strain state.

Искусственные сооружения транспортной отрасли по прочности, надежности, устойчивости, экономичности обслуживания и срокам должны удовлетворять действующим современным техническим требованиям и обеспечивать пропуск современных нагрузок с установленными скоростями движения. Это обеспечивается при организации и выполнении работ по их текущему содержанию и капитальному ремонту.

В последние десятилетия текущее содержание искусственных сооружений было направлено в основном на устранение существующих неисправностей, а работы по предупреждению появления и дальнейшего развития новых неисправностей и дефектов проводились не достаточно.

Кроме того, длительная эксплуатация искусственных сооружений железнодорожной магистральной сети, многие из которых служат около 100 лет, несмотря на проводимые работы, привела к значительному физическому износу их конструкций и элементов, и, в конечном счете, к утрате проектных эксплуатационных параметров, т.е. к снижению поездных нагрузок, ограничениям допускаемых скоростей движения. Многие искусственные сооружения спроектированы по ранее действующим на период строительства железнодорожных линий нормативным документам на другие поездные нагрузки и явления размыва.

Многочисленные случаи деформирования объектов транспортно-хозяйственного комплекса в условиях его интенсивного наращивания и совершенствования определяют необходимость решения задач своевременного выявления природы и причин возникновения деформаций в элементах конструкции. Это обусловлено тем, что разрушения и аварии, происходящие по причине деформационных процессов, наносят огромный экономический, социальный и экологический ущерб, несопоставимый со средствами, затрачиваемыми на защитные мероприятия.

В мировой практике имеется множество случаев, когда из-за ненадлежащего содержания и эксплуатации искусственных сооружений, в частности мостов, их некачественного ремонта либо ремонта с отступлениями от строительных норм и правил, имели место их разрушения, обвалы. Порою и с человеческими жертвами.

В настоящей работе изложены некоторые результаты натурных испытаний железобетонного балочного пролётного строения железнодорожного моста, расположенного на 118 км ПК 6 железнодорожной линии Астана-Павлодар, со следующими параметрами:

- число и величина расчетных пролетов $2 \times 5,5$ м;
- длина между задними (обратными) стенками устоев 19,74 м;
- длина между шкафными стенками устоев 12,10 м;
- высота 4,35 м;
- расстояние между осями путей 4,50 м;
- тип полотна - на щебеночном балласте.

Пролётное строение состоит из двух ребристых балок длиной 6 м. На рисунке 1 приведено поперечное сечение пролётного строения с указанием мест установки тензорезисторов на элементах конструкции. Произведена защита тензорезисторов от внешних воздействий окружающей среды с целью дальнейшего мониторинга в осенне-зимний и весенне-летний периоды при помощи измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) [1].

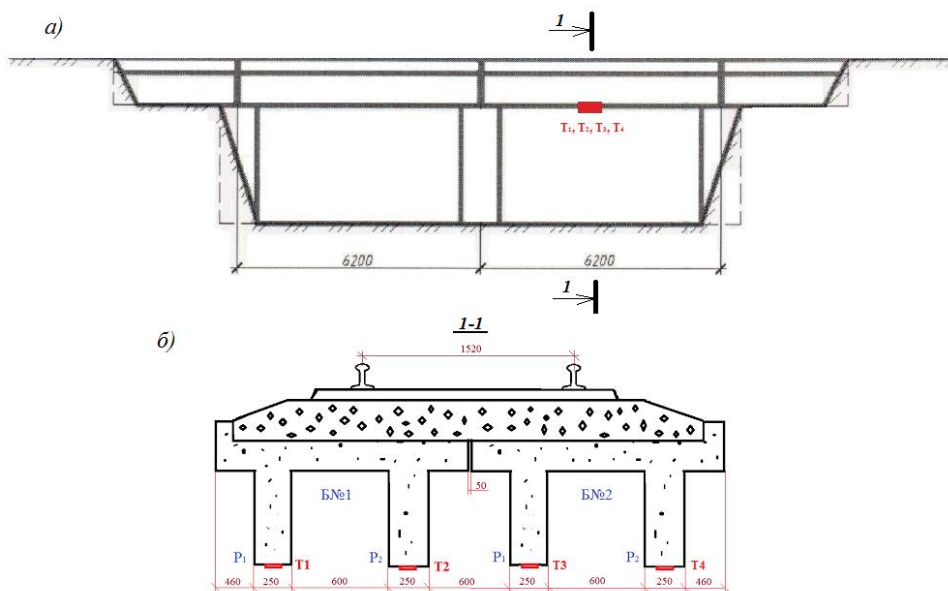


Рисунок 1 - Схема железобетонного балочного пролётного строения железнодорожного моста с расположением тензорезисторов:

- а) общий вид; б) поперечное сечение балочного пролётного строения;*
Б№1 и Б№2 – ребристая балка пролётного строения;
P₁ и P₂ – ребра балки; T1, T2, T3, T4, – тензорезисторы

Ниже приведены некоторые результаты измерений относительных изгибных деформаций железобетонного балочного пролётного строения железнодорожного моста, как и у авторов [2-5], при проходе различного подвижного состава, состоящего из одной или нескольких подвижных единиц различных типов: ВЛ-80, КЗ8А, Дрезина ДГКу, ВЛ-80 + путеизмерительный вагон, КЗ4АТ + 5 пассажирских вагонов, КЗ4АТ-Тулпар – «Гальго», Мотор-вагонный подвижной состав (Электричка), ВЛ-80 + спецтехника + вагон (рабочий поезд).

По данному участку пути составы проходили с разным скоростным режимом движения при входе на мост от 91,5 км/ч до 41,3 км/ч.

На рисунке 2 представлены записи диаграмм изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе одиночного локомотива ВЛ-80, в прямом и обратном направлении.

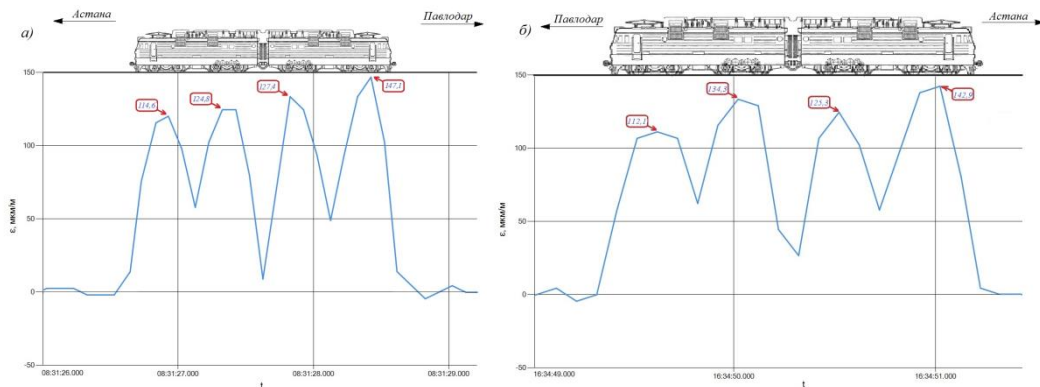


Рисунок 2 - Диаграммы изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе одиночного локомотива ВЛ-80: а) прямой ход (Астана-Павлодар); б) обратный ход(Павлодар-Астана).

Из рисунка 2 можно сделать вывод, что изгибные деформации от воздействия одиночного локомотива ВЛ-80, при проходе в прямом направлении незначительно больше чем в обратном (примерно в 1,1 раз). Характер максимального воздействия изгибных деформаций больше от второй секции на 15% в прямом направлении и на 5,6% в обратном направлении соответственно.

На рисунке 3 показаны записи диаграмм изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе одиночного локомотива КЗ8А и дрезины ДГКу, в обратном направлении (Павлодар-Астана).

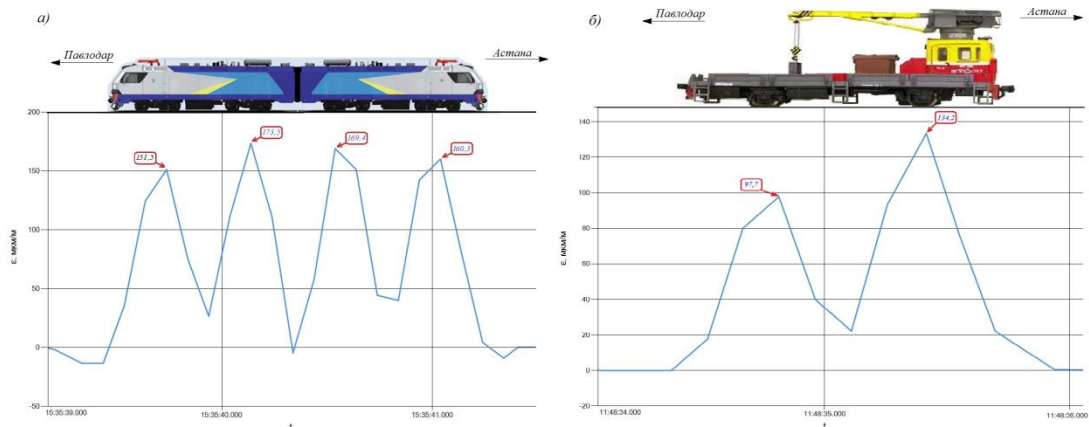


Рисунок 3 - Диаграммы изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе: а) одиночного локомотива КЗ8А; б) дрезины ДГКу).

Из рисунка 3 видно, что максимальные деформации от воздействия при проходе одиночного локомотива KZ8A, в обратном направлении составляет 173,5 мкм/м, а деформации от воздействия при проходе дрезины ДГКу, в обратном направлении составляет 134,2 мкм/м. Характер максимального воздействия изгибных деформаций больше на 12,7% второй тележки по ходу, чем минимальное от первой тележки. Максимальные изгибные деформации при проходе дрезины ДГКу от второй оси больше на 27,2%, чем от первой оси по ходу. Это говорит о том, что основная масса сосредоточена над второй осью дрезины ДГКу, как и показано на рисунке 3б.

Результаты измерений изгибных деформаций железобетонного балочного пролётного строения моста под действием фактически обрабатываемой подвижной нагрузки одиночных локомотивов и дрезины представлены в таблице 1.

Таблица 1.

№	Названия подвижной единицы	max значения	min значения
1	ВЛ-80-2560	142,9	112,1
2	ВЛ-80-2650	147,1	114,6
3	KZ8A	173,5	151,5
4	Дрезина ДГКу	134,2	97,7

На рисунке 4 представлена запись диаграммы изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе локомотива KZ4AT–Тулпар – «Тальго», в прямом направлении (Астана-Павлодар).

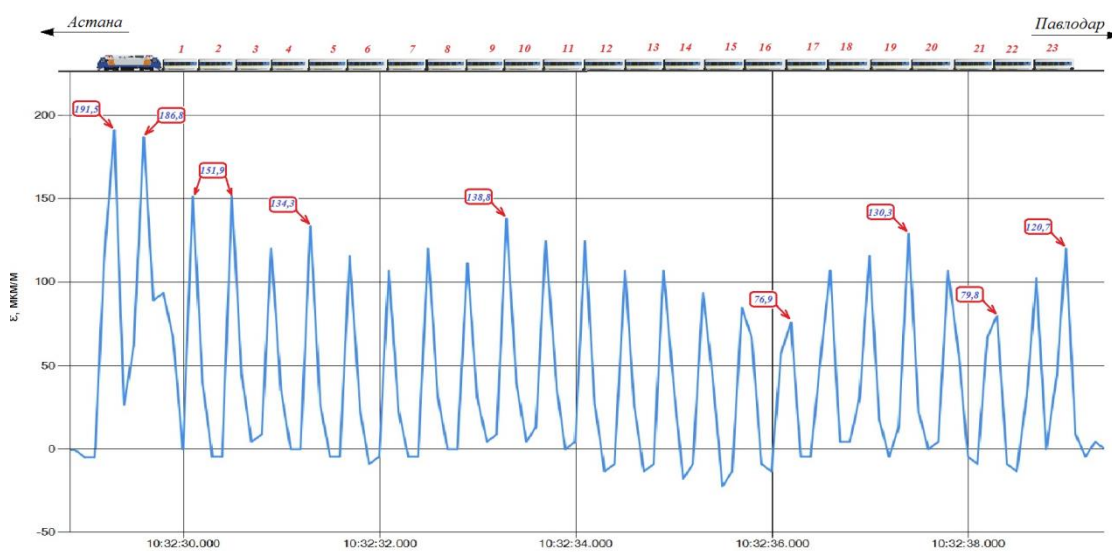


Рисунок 4 - Диаграмма изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе локомотива KZ4AT–Тулпар – «Тальго»

Из рисунка 4 видно, что изгибные деформации от воздействия локомотива KZ4AT в 1,3 раза превышают деформации от воздействия вагонов. Данное обстоятельство объясняется, прежде всего, различием баз тележек и осевых нагрузок локомотива и вагонов и, как следствие, различным характером их влияния на конструкцию. База межколесного пространства вагонов составляет 13,14 м, а база тележек электровоза KZ4AT– 3,0 м соответственно.

На рисунке 5 показаны записи диаграмм изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе локомотива КЗ4АТ + 5 пассажирских вагонов, до и после выправки пути по мосту, в прямом направлении (Астана-Павлодар).

По рисунку 5 можно судить о том, что изгибные деформации от воздействия КЗ4АТ + 5 пассажирских вагонов, до выправки пути на мосту, в 1,69 раза превышают изгибные деформации от воздействия того же состава, после выправки пути на мосту. Данное обстоятельство объясняется, дефектом – «угон пути» и, как следствие, увеличение характера влияния на конструкцию балочного железобетонного моста.

Если сравнить обе диаграммы, то в целом можно сказать, что изгибные деформации от воздействия локомотива КЗ4АТ больше на 12,4% пассажирских вагонов (рис. 5а) и на 14,1% больше (рис. 5б). Это объясняется тем, что база тележек и осевые нагрузки от локомотива и вагонов различны. База тележек электровоза КЗ4АТ равна 3,0 м, а база тележки четырехосных пассажирских вагонов составляет 2,7 м.

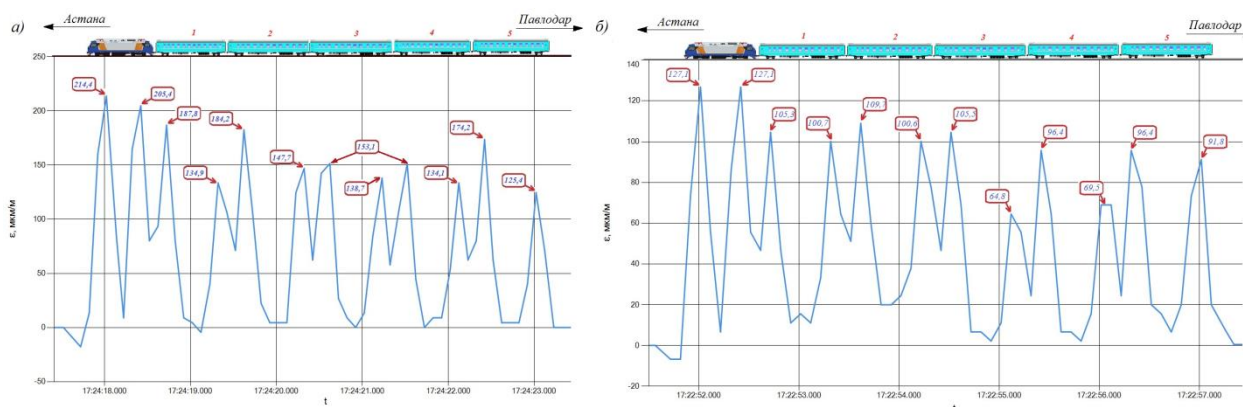


Рисунок 5 - Диаграммы изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе КЗ4АТ + 5 пассажирских вагонов:

а) до выправки пути по мосту; б) после выправки пути по мосту

Результаты измерений изгибных деформаций железобетонного балочного пролётного строения моста под действием фактически обрабатываемой подвижной нагрузки КЗ4АТ–Тулпар – «Тальго» и КЗ4АТ + 5 пассажирских вагонов представлены в таблице 2.

Таблица 2.

№	Названия подвижной единицы	Локомотив max значения	Локомотив min значения	Вагон max значения	Вагон min значения
1	КЗ4АТ-Тальго-Тулпар	191,5	186,8	151,9	176,9
2	КЗ4АТ+5 пассажирских вагонов	214,4	205,4	184,2	125,4
3	КЗ4АТ+5 пассажирских вагонов	127,1	127,1	109,7	64,8

На рисунке 6 представлены записи диаграмм изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета балочного железобетонного моста при проходе мотор-вагонного подвижного состава (Электричка) из восьми пассажирских вагонов (рис. 6а) и шести пассажирских вагонов (рис. 6б), в прямом направлении (Астана-Павлодар).

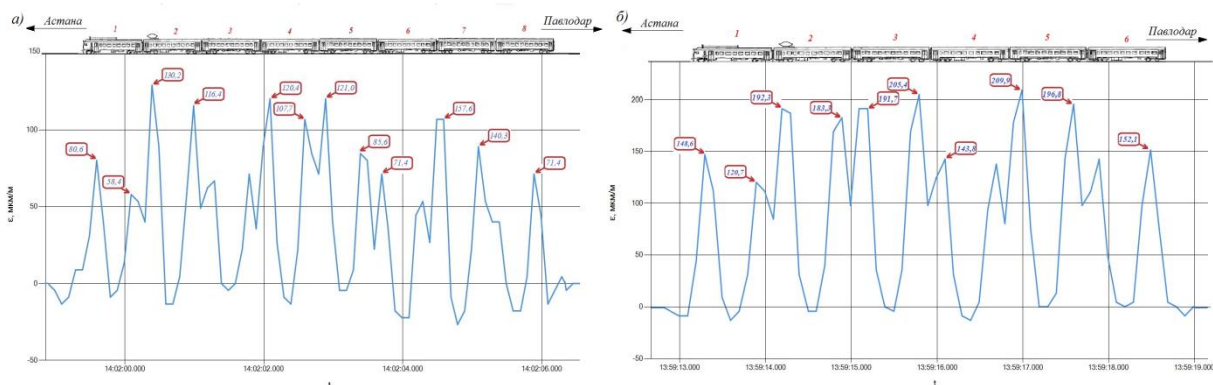


Рисунок 6 - Диаграммы изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе мотор-вагонного подвижного состав (Электричка):
а) электричка из 8-ми вагонов; б) электричка из 6-ти вагонов.

Изучив рисунок 6 можно сделать вывод, что изгибные деформации от воздействия электрички из 8-ми вагонов в 1,6 раз превышают изгибные деформации от воздействия электрички из 6-ти вагонов. Данное обстоятельство объясняется, прежде всего, скоростью и износом ходовой рессорноподвесной части мотор-вагонного подвижного состава и, как следствие, различным характером влияния на конструкцию балочного железобетонного моста. Электричка из 8-ми вагонов проходила со скоростью 91,5 км/ч (рис. 6а), а скорость электрички из 6-ти вагонов составила 83,3 км/ч (рис. 6б).

Результаты измерений изгибных деформаций железобетонного балочного пролётного строения моста под действием фактически обрабатываемой подвижной нагрузки мотор-вагонного подвижного состав (Электричка) представлены в таблице 3.

Таблица 3.

№ вагона	Измеренные изгибные деформации	электричка из 8-ми вагонов №1	электричка из 8-ми вагонов №2	электричка из 6-ти вагонов №1	электричка из 6-ти вагонов №2
		макс значения	мин значения	макс значения	мин значения
1	макс значения	80,6	85,7	148,6	143,8
	мин значения	58,4	76,2	120,7	138,4
2	макс значения	130,2	116,1	192,3	178,8
	мин значения	116,4	107,7	183,3	175,3
3	макс значения	76,5	76,9	205,4	205,1
	мин значения	61,2	60,3	191,7	190,2
4	макс значения	120,4	134,5	143,8	152,1
	мин значения	107,7	125,6	136,6	156,2
5	макс значения	121,0	125,6	209,9	204,9
	мин значения	85,6	119,8	196,8	222,8
6	макс значения	71,4	75,5	152,1	156,2
	мин значения	56,8	68,9	142,6	154,7
7	макс значения	157,6	138,7	-	-
	мин значения	140,3	111,4	-	-
8	макс значения	39,7	89,3	-	-
	мин значения	71,4	71,4	-	-

На рисунке 7 представлена запись диаграммы изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе ВЛ-80 + спецтехника + вагон (рабочего поезда), в прямом направлении (Астана-Павлодар) со скоростью 77,1 км/ч.

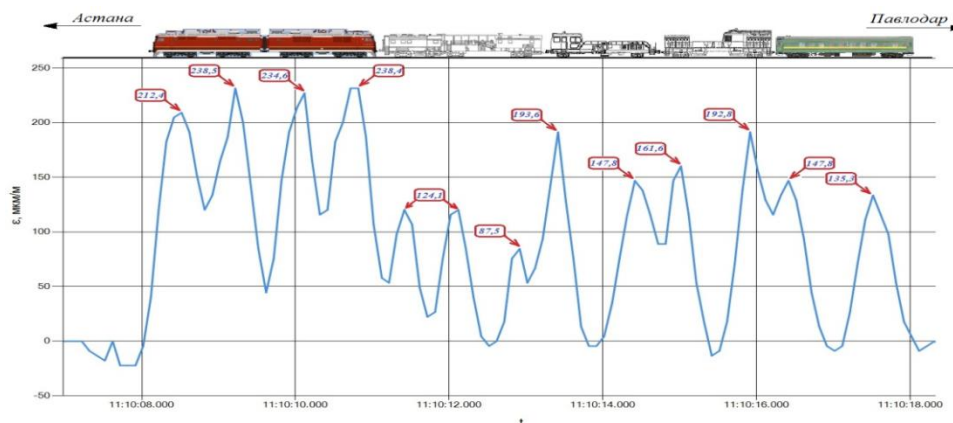


Рисунок 7 - Диаграмма изгибных деформаций растянутой зоны в средней части пролета при проходе локомотива ВЛ-80 + спецтехника + вагон (рабочего поезда)

Из рисунка 7 видно, что наибольшие изгибные деформации от воздействия локомотива ВЛ-80 (238,5 мкм/м), затем в более тяжелой части второй и третьей спецтехнике (193,6 мкм/м и 192,8 мкм/м), после у пассажирского вагона (147,8 мкм/м) и у планировщика балласта (124,1 мкм/м). Это объясняется тем, что база тележек и осевых нагрузок локомотива, спецтехники и вагона различны и, влияния на конструкцию балочного железобетонного моста, соответственно разные.

Выводы. Из анализа измерений колебаний балочного металлического пролетного строения моста с применением в качестве инструмента обработки сигнала быстрого преобразования Фурье, следует, что для определения периода собственных колебаний пролетного строения с целью сравнения с нормируемым диапазоном можно применять воздействие на конструкцию, вызванное прыжком человека, при условии достаточной чувствительности измерительной аппаратуры.

Полученная частота (период) соответствуют наинизшей форме колебаний пролетного строения, величины которых можно использовать в расчетах данного сооружения на сейсмостойкость, а также в динамических расчетах устойчивости для перспективной нагрузки.

Для определения фактического технического состояния конструкций и наиболее эффективной оценки надежности конструкций мостов и установления соответствия между расчетной схемой и действительной работой сооружений, на магистральных линиях АО «НК «КТЖ», необходимо осуществлять периодический мониторинг напряженно-деформированного состояния сооружений под эксплуатационными нагрузками.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Квашнин М.Я., Бондарь И.С., Рыстыгулов П.А., Кыстаубаев С.Б. Экспериментальные исследования конструкций железнодорожных мостов, усиленных композитным материалом // Труды Шестнадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М: МГУПС (МИИТ), 2015. – Т II, С. II-43 – II-47.

[2] Буромбаев С.А., Квашнин М.Я. Диагностика и мониторинг искусственных сооружений магистральных линий АО «НК «КТЖ» // Вестник КазАТК № 3 (98), 2016. – С. 38-57.

[3] Бондарь И.С. Влияние подвижной нагрузки на деформации пролетного строения железнодорожного моста// Сборник трудов с Международным участием. Выпуск 7 – «Инженерные сооружения на транспорте», М: МГУПС (МИИТ), 2016. – С. 64-67.

[4] Квашнин М.Я., Бондарь И.С., Жангабылова А.М. Мониторинг воздействия подвижного состава на балочные пролетные строения железнодорожных мостов // Материалы Международной научно-практической конференции «Транспортная наука и инновации», посвященной посланию Президента РК Н.А. Назарбаева «Нұрлы жол – путь в будущее». – Алматы: КазАТК, 2015. – С. 275-279.

[5] Квашнин М.Я., Буромбаев С.А., Бондарь И.С., Жангабылова А.М. Влияние вибродинамического воздействия локомотивов с высокими осевыми нагрузками на ж.д. путь и балочные ж.б. пролетные строения мостов // Труды XII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца. – М: МГУПС (МИИТ), 2015. – С. 163-166.