

Вибродиагностика подходной насыпи железнодорожного моста

Опыт эксплуатации железнодорожных мостов показывает, что в зонах примыкания пути к мостам перед устоями образуются так называемые предмостовые ямы, т.е. происходит прогрессирующее во времени накопление остаточных деформаций в балластном слое и земляном полотне.

Существенную роль в накоплении остаточных деформаций в балластном слое и земляном полотне играет то обстоятельство, что имеющиеся за шкафными стенками устоев дренажи, как правило, не очищаются с момента постройки сооружения и вода за устоями обильно смачивает основную площадку земляного полотна, а это способствует появлению осадок непосредственно за устоями.

Следствием указанных деформаций являются «висячие» шпалы, под которыми образуются люфты (зазоры) до 5–10 мм, вызывающие ударные воздействия при проходе поездов, особенно при высоких скоростях движения. Одной из основных причин появления повреждений в пролетных строениях мостов можно считать повышенную динамику воздействия подвижного состава, которая возникает из-за резких ударов локомотива и вагонов при входе на мост.

В настоящей работе приведены результаты измерений параметров колебаний основной площадки и основания подходной насыпи железнодорожного железобетонного моста, расположенного на 118-м км ПК 6 Астана – Павлодар при воздействии обращающегося подвижного состава.

Ключевые слова: *железнодорожный мост, подходная насыпь, вибродиагностика, интенсивность колебаний, амплитудно-временные зависимости, амплитудно-фазочастотные характеристики.*

Проблема переходных участков в настоящее время настолько значительна, что во многих странах ее пытаются решать самыми разнообразными способами. Обширные работы по исследованию переходных участков в связи с резким увеличением скоростей движения поездов проводят в Китае, Чехии, Венгрии, Польше, России [1].

В настоящее время основными методами диагностики их состояния являются инженерно-геологические (бурение и шурфование) и геофизические (сейсмические, электроразведочные, георадарные, электродинамическое зондирование) методы, а также испытания мобильными нагрузочными комплексами [2, 3].

В данной работе производились измерения параметров колебаний основной площадки и основания подходной насыпи железнодорожного моста. Контрольные сечения располагались на расстоянии 7, 10 и 20 м от устоя. Запись и обработка данных осуществлялись в соответствии с методиками измерений и интерпретации результатов, изложенными в [4–8], с использованием аппаратно-программного комплекса (рис. 1) Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева.

Программы записи, обработки и визуализации результатов апробированы при экспериментальных исследованиях динамической работы железнодорожного пути и искусственных со-

оружий транспортно-коммуникационного комплекса Республики Казахстан [9–13].

При помощи данного аппаратно-программного комплекса можно производить:

- измерение динамических характеристик мостов и подходных насыпей при воздействии подвижного состава одновременно в восьми сечениях при длине измерительного тракта до 250 м;

- определение амплитудно-частотных характеристик насыпей земляного полотна в вертикальном, горизонтально-поперечном и горизонтально-продольном направлениях;

- оценку воздействия подвижного состава на подходные насыпи и земляное полотно.

Измерялись параметры вертикальных, продольных и поперечных колебаний грунтов основной площадки и основания подходной насыпи при воздействии проходящих поездов.

В качестве средств измерений использовались высокочувствительные широкополосные трехкомпонентные сейсмометры с обратной связью (рис. 2) и мобильный виброизмерительный комплекс с пакетом прикладных программ по обработке и визуализации данных (рис. 3).

С целью выявления оценочных критериев, наиболее полно характеризующих поведение подходной насыпи при вибродинамическом воздействии проходящих поездов, анализировались следующие параметры:

- амплитудно-временные зависимости виброскорости, виброперемещения и виброускорения;
- амплитудно-частотные характеристики виброскорости и амплитудно-фазочастотные

характеристики виброперемещения и виброускорения;

- действующая амплитуда (двойной размах колебания, регистрируемый датчиком под каждой осью подвижного состава) полного



Рис. 1. Измерительно-вычислительный комплекс для динамических испытаний конструкций искусственных сооружений



Рис. 2. Трехкомпонентный сейсмометр, установленный на основной площадке земляного полотна подходной насыпи



Рис. 3. Мобильный виброизмерительный комплекс в рабочем состоянии

вектора виброскорости колебаний, определяемая по формуле [5]

$$A_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_i^2 \Delta t}{T}}, \quad (1)$$

где i – текущий индекс суммирования; n – количество отсчетов; A_i – амплитуда виброскорости колебаний с временным шагом Δt ; T – временной интервал наблюдения вибраций;

– коэффициент затухания колебаний амплитуды виброскорости по откосу насыпи β , 1/м, определяемый по каждому направлению регистрации колебаний исходя из экспоненциальной зависимости по формуле [4, 7]

$$\beta = -\ln \frac{A_2}{A_1} / L, \quad (2)$$

где A_2 и A_1 – амплитуда виброскорости на нижнем и верхнем датчиках соответственно; L – расстояние по откосу между датчиками;

– интегральные параметры (площади спектров мощности) спектральной плотности дисперсии виброскорости S^{10} и S^{50} в частотных диапазонах 0,1–10 Гц и 0,1–50 Гц соответственно;

– интенсивность колебаний в полосе частот 0,1–10 Гц, соответствующая процентному содержанию энергии колебаний, попадающих в данную спектральную полосу, определяемая по формуле [5]

$$I = -\frac{S^{10}}{S^{50}} 100 \%, \quad (3)$$

где S^{10} и S^{50} – площади спектров сигнала в полосе 0,1–10 Гц и в полосе 0,1–50 Гц соответственно.

Особый интерес представляли горизонтальные (продольные и поперечные) составляющие колебательного процесса, которые при определенных условиях могут быть дополнительно воздействующими на конструкцию факторами, способствующими угону и поперечному сдвигу пути.

В качестве примера приведены амплитудно-временные зависимости виброскорости поперечных колебаний основной площадки (рис. 4, а) и основания (см. рис. 4, б) подходной насыпи, полученные в сечении на расстоянии 10 м от устоя при выходе с моста электропоезда со скоростью 102 км/ч.

Из представленных зависимостей видно, что при проходе электрички на основной площадке максимальная амплитуда виброскорости достигает величины 2,87 мм/с и превышает максимальную амплитуду (1,11 мм/с) основания насыпи в 2,6 раза. Причем максимальные амплитуды практически совпадают по времени – на основной площадке максимальная амплитуда зафиксирована на 0,03 с раньше максимальной амплитуды в основании насыпи (18,30 и 18,33 с соответственно).

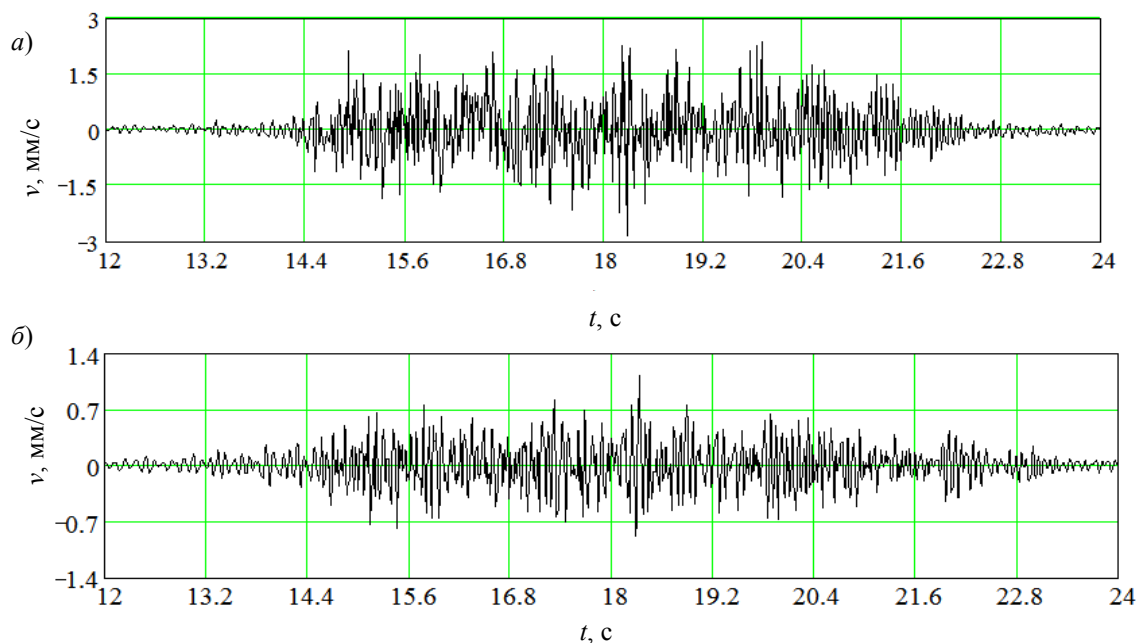


Рис. 4. Амплитудно-временные зависимости виброскорости поперечных колебаний основной площадки (а) и основания (б) подходной насыпи

В случае необходимости по разнице во времени можно вычислить скорость распространения поверхностных волн по откосу насыпи от воздействия подвижной нагрузки различного типа и характера.

На рис. 5 показаны амплитудно-временные зависимости виброускорения поперечных колебаний основной площадки и основания подходной насыпи, полученные при воздействии того же подвижного состава в том же сечении.

В данном случае максимальная амплитуда виброускорения основной площадки достигла величины $0,34 \text{ м/с}^2$ и превысила максимальную амплитуду основания насыпи ($0,11 \text{ м/с}^2$) в 3,1 раза.

На рис. 6 представлены амплитудно-временные зависимости виброперемещения поперечных колебаний основной площадки и основания подходной насыпи. Максимальная амплитуда виброперемещения основной площадки (165 мкм), зафиксированная на $16,71 \text{ с}$, превышала максимальную амплитуду (14 мкм) основания насыпи, зафиксированную на $18,36 \text{ с}$, в 11,8 раза. Видно, что характер воздействия экипажа на основную площадку и основание насыпи различен. Если в основании насыпи преобладают высокочастотные составляющие колебаний, т. е. волновые процессы, то на основной площадке ярко

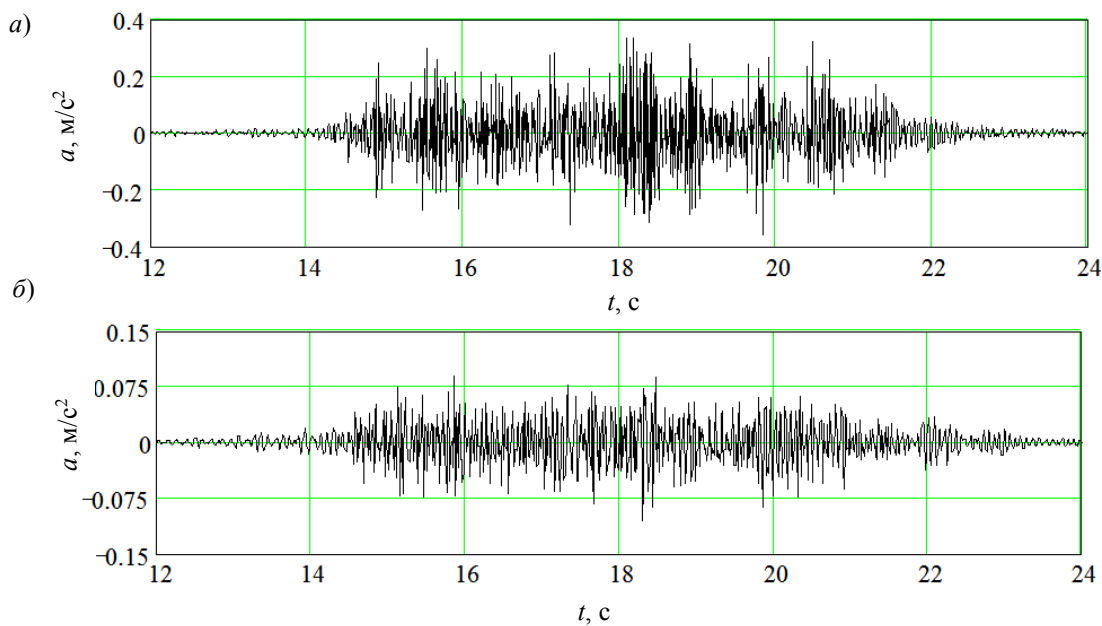


Рис. 5. Амплитудно-временные зависимости виброускорения поперечных колебаний основной площадки (а) и основания (б) подходной насыпи

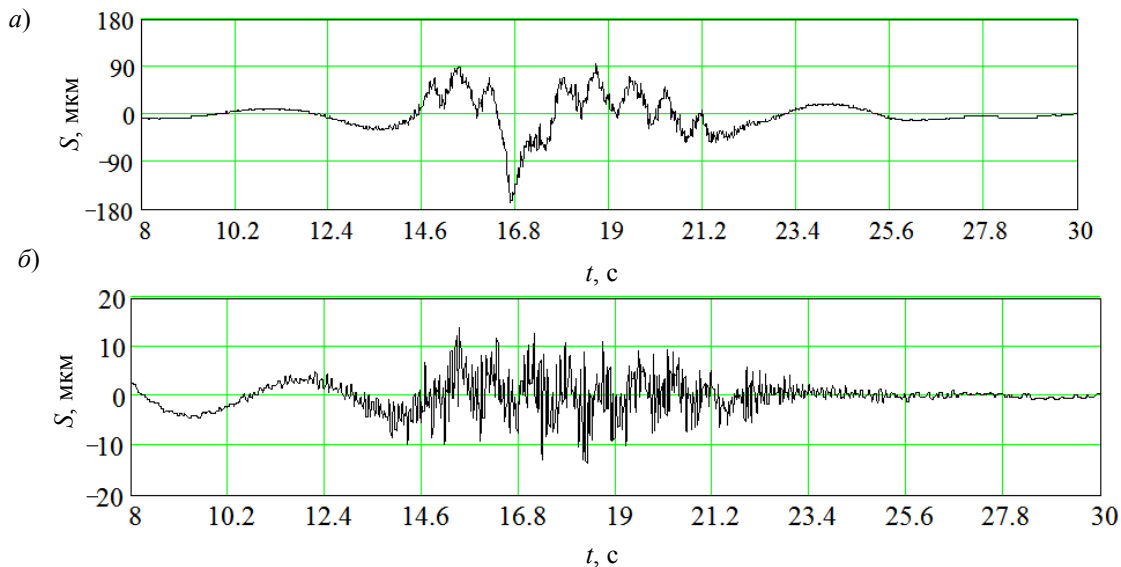


Рис. 6. Амплитудно-временные зависимости виброперемещения поперечных колебаний основной площадки (а) и основания (б) подходной насыпи

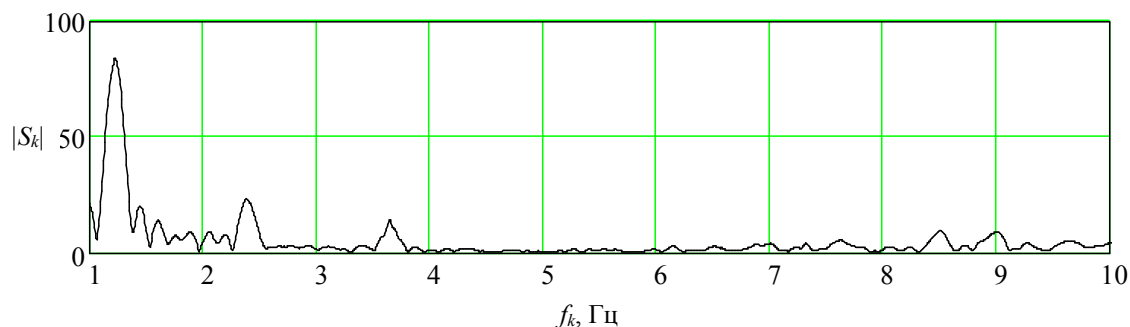


Рис. 7. График спектральной плотности дисперсии виброперемещения

выражены механические смещения в низкочастотной области, вызванные поперечным воздействием экипажа на рельсошпальную решетку, балластное основание и, как следствие, на основную площадку.

Из графика спектральной плотности дисперсии виброперемещения основной площадки подходной насыпи в частотном диапазоне 1–10 Гц (рис. 7) следует, что максимальный амплитудный выброс на частоте 1,23 Гц соответствует колебаниям виляния экипажа при проходе горизонтальной неровности.

Оценка динамического воздействия подвижного состава на земляное полотно в условиях повышения осевых нагрузок и скоростей движения выполняется на основе экспериментальных исследований напряжений в различных точках земляного полотна, упругих деформаций (осадок) грунтов от каждой оси экипажа (или группы осей), колебаний (вибраций) грунта [14].

Выводы. Анализ колебаний грунта земляного полотна подходной насыпи позволил выявить, что наиболее стабильным параметром, характеризующим ее поведение при проходе поездов, является интенсивность колебаний в полосе частот 0,1–10 Гц. Данный параметр (в настоящей работе равен 19,84 % по результатам обработки 168 записей проходящего подвижного состава на исследуемом участке) не зависит от величины и характера подвижной нагрузки, а зависит только от состояния пути и физико-механических свойств грунтов, из которых возведена насыпь.

Интенсивность колебаний в полосе частот 0,1–10 Гц может быть принята в качестве основного оценочного критерия при разработке инструкций по проведению вибродиагностики переходных участков подходных насыпей.

Библиографический список

1. Р 760/4. Новые конструкции переходных участков с насыпи на мост / ОСЖД. Варшава, 2005. 12 с.
2. Коншин Г.Г. Вибросейсмическая диагностика эксплуатируемого земляного полотна. М.: Транспорт, 1994. 216 с.
3. Коншин Г.Г. Методы и средства диагностики земляного полотна: Учеб. пособие. М.: МИИТ, 2004. 213 с.
4. Инструкция по вибродиагностике насыпей на слабых основаниях / Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12.12.2012 № 2541р. М., 2012. 35 с.
5. Инструкция по вибродиагностике высоких насыпей на железных дорогах ОАО «РЖД» / Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12.10.2014 № 2561р. М., 2014. 30 с.
6. Бондарь И.С., Буромбаев С.А., Квашнин М.Я. Динамическая работа пути под тяжеловесными локомотивами // Путь и путевое хозяйство. 2016. № 1. С. 29–32.
7. Капустин В.В. Вибродиагностика состояния железнодорожных насыпей на слабых основаниях // Инженерные изыскания. 2013. № 10–11. С. 100–109.
8. Экспериментальные исследования вибродинамического воздействия подвижной нагрузки на основную площадку земляного полотна в холодных регионах / М.Я. Квашнин, С.А. Косенко, И.С. Бондарь, Н.М. Квашнин // Второй Международный симпозиум земляного полотна в холодных регионах: Материалы симпозиума (Новосибирск, 24–26 сентября 2015 г.) / Под ред. проф. А.Л. Исакова и проф. Ц.К. Лю. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2015. С. 147–151.
9. Сопротивление сдвигу связных грунтов при знакопеременных воздействиях / С.А. Косенко, А.К. Ибраимов, М.Я. Квашнин, Т.Ж. Тулемисов // X Науч.-техн. конф. с междунар. участием (Москва, 4–5 апреля 2013 г.). М.: МИИТ, 2013. С. 149–151.

10. Квашнин М.Я., Квашнин Н.М., Бондарь И.С. Вейвлет-анализ в виброакустическом методе контроля // Мир транспорта. 2014. № 6. С. 78–84.
11. Замуховский А.В., Квашнин Н.М., Жангабылова А.М. Контроль динамического воздействия экипажа на путь // Мир транспорта. 2014. № 5. С. 72–81.
12. Курбацкий Е.Н., Бондарь И.С., Квашнин М.Я. Исследование отклика балочных мостов на воздействие поезда // Мир транспорта. 2015. № 3. С. 58–71.
13. Колебания элементов верхнего строения пути со скреплениями Vossloh при ударно-импульсном воздействии / А.В. Замуховский, М.Я. Квашнин, Н.М. Квашнин, А.М. Жангабылова // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 6. С. 23–25.
14. Р 761/1. Рекомендации по методам оценки динамического воздействия подвижного состава на земляное полотно в условиях повышения осевых нагрузок и скоростей движения / ОСЖД. Варшава, 2008. 18 с.

М.Я. Kvashnin, S.A. Kosenko, I.S. Bondar

Vibration-Based Diagnostics of the Railroad Bridge-Approach Fill

Abstract. Experience in the operation of railway bridges shows that in the zones of abutting the way to bridges before the foundations, so-called bridge pits are formed, i.e., there is a progressive accumulation of residual deformations in the ballast layer and earthen linen.

An important role in the accumulation of residual deformations in the ballast layer and the earthen canvas is played by the fact that drains are not cleaned from the moment of structure construction, and the water behind the foundations lavishes the main site of the earthen cloth abundantly, which contributes to the precipitation itself behind the foundations.

As a result of these deformations, there are "hanging" sleepers, under which backlashes (gaps) are formed up to 5-10 mm, which cause shock effects when passing trains, especially at high speeds. One of the main reasons for the appearance of damages in the span structures of bridges can be considered increased dynamics of the impact of rolling stock, which arises from the sharp impacts of the locomotive and cars at the entrance to the bridge.

In the present work, the results of measurements of the parameters of the oscillations of the main site and the base of the approach fill of a railway ferro-concrete bridge located at 118 km of PC6 Astana-Pavlodar under the influence of a rolling stock are presented.

Key words: *railroad bridge; approach fill; vibration-based diagnostics; vibration intensity; amplitude-time dependences; amplitude-phase-frequency characteristics.*

Квашнин Михаил Яковлевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» КазАТК им. М. Тынышпаева. E-mail: kvashnin_mj55@mail.ru

Косенко Сергей Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Путь и путевое хозяйство» СГУПСа. E-mail: kosenko.s.a@mail.ru

Бондарь Иван Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Транспортное строительство» КазАТК им. М. Тынышпаева. E-mail: ivan_sergeevich_08@mail.ru