



Колебания основной площадки земляного полотна



Султан БУРОМБАЕВ
Sultan A. BUROMBAEV

Александр ЗАМУХОВСКИЙ
Aleksandr V. ZAMUHOVSKIY



Михаил КВАШНИН
Mikhail Ya. KVASHNIN

Буромбаев Султан Адамбаевич — директор укрупнённой Алматинской дистанции пути (УПЧ-46) АО «НК «КТЖ», Алматы, Казахстан.
Замуховский Александр Владимирович — кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.
Квашнин Михаил Яковлевич — кандидат технических наук, доцент Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан.

Fluctuations of Solid Subgrade

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 43)

Приведены результаты измерений характеристик вертикальных колебаний бровки основной площадки устойчивой насыпи земляного полотна железнодорожного пути при воздействии электровоза ВЛ-80 с различными скоростями движения. Экспериментальные исследования проводились в Казахстане на участке укрупнённой Алматинской дистанции пути. Выявлены зависимости параметров колебательного процесса от скорости движения локомотива, которые могут использоваться в качестве критериев оценки при разработке систем мониторинга железнодорожных насыпей. Отмечена целесообразность дальнейших экспериментальных исследований в зонах проблемных насыпей с грунтами, склонными к тиксотропии.

Ключевые слова: железнодорожный путь, земляное полотно, основная площадка, виброскорость, виброперемещение, виброускорение, виброграмма, акселерограмма, амплитудно-частотные характеристики.

В мировой практике оценку вибрационных воздействий на элементы конструкции железнодорожного пути принято производить на основе измерения скорости колебательного процесса [1–12]. Это вызвано тем, что данный параметр характеризует энергию сейсмических волн, воздействующих на конструкцию. Задачи исследования колебаний элементов пути при вибродинамическом воздействии подвижной нагрузки вполне успешно можно решать методами и средствами, используемыми в сейсмике.

Известно, что при наложении вибрационного воздействия более высокой частоты на основной фон динамического воздействия сопротивляемость среды резко снижается. Происходит это вследствие уменьшения эффективного коэффициента трения и сцепления между шпалами и частями балластного основания, а также проявления при определенных условиях (вибрации и одиночные удары) такого явления, как тиксотропия грунта. Жесткость железобетонных шпал намного выше, чем

Таблица 1

Количество записей при различных скоростях движения электровоза ВЛ-80

Скорость состава, км/ч	Количество записей	Скорость состава, км/ч	Количество записей	Скорость состава, км/ч	Количество записей
45	8	69	8	79	8
50	8	70	8	81	8
53	8	71	8	82	8
59	8	73	8	86	8
61	8	74	8	91	8
63	16	75	8	95	8
66	8	76	8	100	16
67	8	78	8	103	8

деревянных, а их способность к гашению вредных вибраций несравнимо ниже. Поэтому с внедрением таких шпал остаточные осадки пути возросли в 2–2,5 раза, хотя силовое воздействие основного фона шпал на балласт отличается несущественно, а толщина слоя щебня, как известно, больше при железобетонных шпалах.

Данные многочисленных исследований показывают, что при прочих равных условиях на пути с железобетонными шпалами наблюдается более интенсивная деформация основной площадки земляного полотна, чем на пути с деревянными шпалами. Без принятия определенных мер существует вероятность образования балластных корыт на большом протяжении участков с железобетонными шпалами.

В целях оценки влияния воздействия подвижного состава на динамические (амплитудно-частотные) характеристики земляного полотна железнодорожного пути на магистральном участке укрупненной Алматинской дистанции пути УПЧ-46 АО «НК «КТЖ» были проведены натурные экспериментальные исследования вибродинамического воздействия подвижной нагрузки на путь.

Для выявления закономерностей колебаний основной площадки под подвижной нагрузкой исследования необходимо выполнять при известных осевой нагрузке и параметрах источника вибрации. Так как на исследуемом участке железнодорожного пути основным средством тяги является электровоз ВЛ-80, он и был выбран в качестве источника возбуждения при анализе закономерностей колебательного процесса. Статическая нагрузка от колеса на рельс для локомотива ВЛ-80 составляет $P_{ст} = 12$ т.

В качестве средства измерений использовали мобильный виброизмерительный

комплекс с пакетом прикладных программ по обработке и визуализации данных. Измерительные устройства, входящие в состав мобильного виброизмерительного комплекса, сертифицированы и внесены в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации и Республики Казахстан.

В качестве первичных преобразователей использовались вибродатчики генераторного типа МВ-25Д-В, которые преобразуют воздействующие на них механические вибрации в электрический сигнал и служат для измерения скорости колебательного процесса. Выбор вибродатчиков МВ-25Д-В в качестве первичных преобразователей основывался на следующих принципах:

- индукционные первичные преобразователи работают без усилителей, вносящих значительные погрешности в измеряемые величины, и позволяют производить прецизионные (высокоточные) измерения;

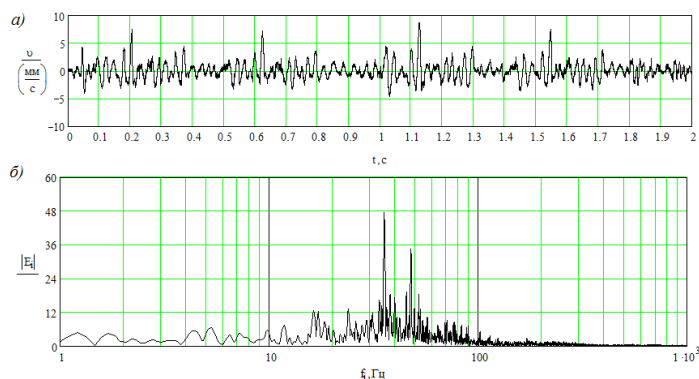
- измеряемой величиной является скорость колебательного процесса, которая принята за основу и внесена в различные национальные стандарты развитых стран и международные стандарты ISO при оценке уровня вибрации;

- переход от скорости к перемещениям и ускорениям не вносит значительных погрешностей в процессе интегрирования и дифференцирования (чтобы перейти от перемещений к ускорениям при использовании датчика перемещения, необходимо дважды проинтегрировать полученный сигнал, а переход от ускорений к перемещениям при использовании акселерометра требует двойного интегрирования);

- вибродатчик МВ-25Д-В имеет габариты и массу, не влияющие на процесс колебаний железнодорожного пути от поезда нагрузки, и может устанавливаться



Рис. 1:
а) осциллограмма
виброскорости грунта
на бровке основной
площадки земляного
полотна, б) спектр
виброскорости
при прохождении
локомотива ВЛ-80
со скоростью 71 км/ч
(максимальный
спектральный выброс
на частоте 35,8 Гц).



практически на все элементы его конструкции — рельсы, шпалы, рельсовые скрепления, балластное основание, земляное полотно.

При проведении исследований устанавливались следующие параметры записи сигналов: частота дискретизации на канал — 8000 Гц, длительность записи — 65,536 с, диапазон входного сигнала ± 10 В, синхронизация по уровню сигнала 0,001 В. Записи прохода грузовых и пассажирских составов производились в летний период в течение 15 дней. Регистрировалось воздействие на путь всех проходящих поездов в светлое время суток (с 7.00 до 20.00). За весь период наблюдений произведено более 200 записей (см. таблицу 1). Скорость проходящих поездов определяли при помощи радиолокационного измерителя скорости движения транспортных средств «Искра-1» и уточняли по виброграммам.

Из анализа результатов измерений параметров механических колебаний бровки основной площадки земляного полотна, возникающих при движении локомотива ВЛ-80, выявлено следующее.

Преобладающие частоты на спектрах виброперемещений $f_{n,s}$, виброскоростей $f_{n,v}$ и виброускорений $f_{n,a}$ во всем исследуемом

диапазоне скоростей движения электроваза от 45 до 103 км/ч совпадают между собой и изменяются в диапазоне от 29 до 56 Гц.

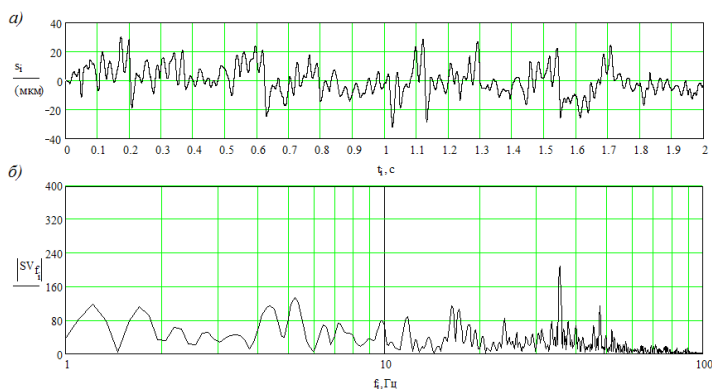
В качестве примера на рис. 1–3 приведены амплитудно-временные (см. рис. 1а–3а) и амплитудно-частотные (см. рис. 1б–3б) характеристики виброскоростей, виброперемещений и виброускорений, зафиксированные на бровке основной площадки земляного полотна при проходе локомотива ВЛ-80 со скоростью 71 км/ч.

Зависимости пиковых и среднеквадратических значений виброскоростей и виброускорений от скорости подвижного состава на основной площадке земляного полотна имеют низкий коэффициент достоверности аппроксимации (коэффициент детерминации) и неприемлемы в качестве обобщенных критериев оценки.

На бровке основной площадки земляного полотна зависимость пикового значения виброперемещения от скорости движения электроваза ВЛ-80 описывается параболой, а среднеквадратическое значение виброперемещения — линейной функцией.

Минимальное измеренное пиковое значение виброперемещения (19 мкм) получено

Рис. 2:
а) осциллограмма
виброперемещений грунта
на бровке основной площадки
земляного полотна, б) спектр
виброперемещений при
прохождении локомотива
ВЛ-80 со скоростью 71 км/ч
(максимальный спектральный
выброс на частоте 35,8 Гц).



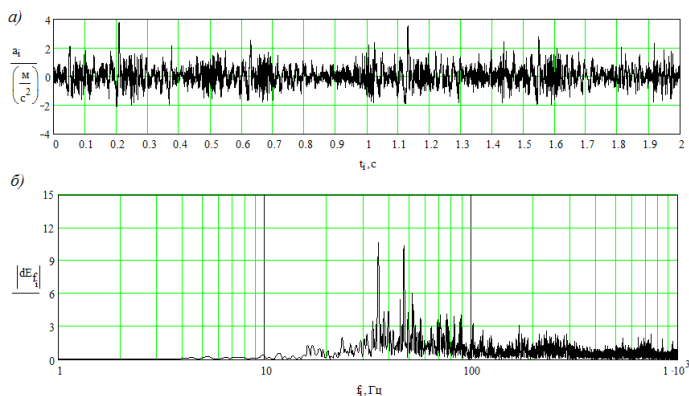


Рис. 3: а) акселерограмма колебаний грунта на бровке основной площадки земляного полотна, б) спектр ускорений при прохождении локомотива ВЛ-80 со скоростью 71 км/ч (максимальный спектральный выброс на частоте 35,8 Гц).

при скорости движения электровоза 45 км/ч, максимальное — 40 мкм (при скорости 103 км/ч). На рис. 4 приведена зависимость пикового значения виброперемещения на основной площадке земляного полотна от скорости движения электровоза ВЛ-80. Полученная зависимость описывается полиномом второй степени вид $s_p = 0,0025V^2 - 0,1066V + 20,759$ с коэффициентом детерминации 0,8428. Значение ординаты s_p в нулевой точке соответствует упругому статическому перемещению (прогибу) бровки основной площадки земляного полотна для случая остановки локомотива в районе исследуемого сечения с классическим распределением давления от колесных пар ($s_{cm} = 20,759$ мкм).

На рис. 5 представлен график зависимости преобладающих частот колебаний (максимумов на спектрах) от скорости локомотива. Из графика видно, что при скорости подвижного состава от 66 до 86 км/ч наблюдаются колебания с преобладающими частотами от 43 до 56 Гц. Такие частоты могут вызвать тиксотропные явления в переувлажненных грунтах.

На рис. 6 показана зависимость среднеквадратического значения виброперемещения на основной площадке земляного полотна от скорости движения электровоза ВЛ-80. Зависимость имеет вид линейной

функции $s_e = 0,1255V$ с коэффициентом детерминации 0,875.

Полученные зависимости параметров колебательного процесса от скорости движения локомотива могут использоваться в качестве критериев оценки при разработке систем диагностики и мониторинга железнодорожных насыпей.

ВЫВОДЫ

Действие механических колебаний, возникающих на бровке основной площадки земляного полотна при движении электровоза ВЛ-80, характеризуемое среднеквадратическим значением виброперемещения, аппроксимируется линейной функцией вида $s_e = 0,1255V$ с коэффициентом детерминации 0,875.

Максимальное силовое воздействие на бровку основной площадки земляного полотна при движении электровоза ВЛ-80, характеризуемое пиковым значением виброперемещения, аппроксимируется параболой $s_p = 0,0025V^2 - 0,1066V + 20,759$ с коэффициентом детерминации 0,8428.

Методики мониторинга железнодорожных насыпей необходимо основывать на комплексе показателей, включающем определение физико-механических свойств грунтов и измерения динамического воздействия подвижного состава.

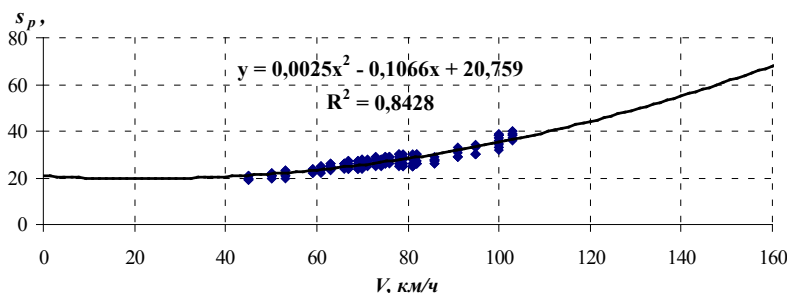


Рис. 4. Зависимость пикового значения виброперемещения на бровке основной площадки земляного полотна от скорости движения электровоза ВЛ-80.





Рис. 5. График зависимости преобладающих частот колебаний от скорости движения локомотива.

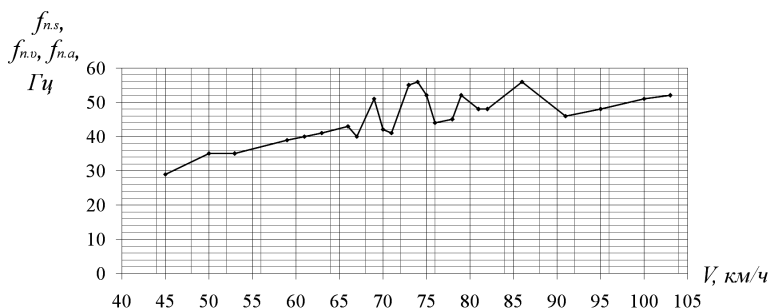
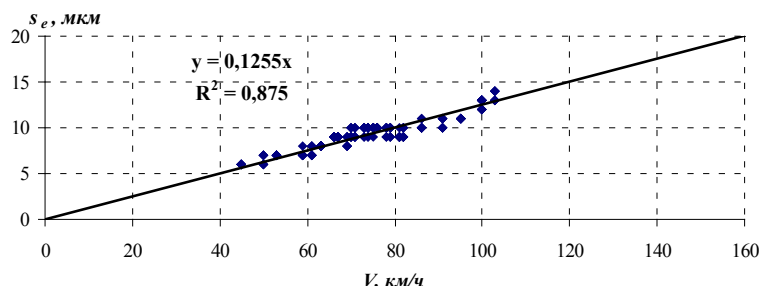


Рис. 6. Зависимость среднеквадратического значения виброперемещения на основной площадке земляного полотна от скорости движения электроваз ВЛ-80.



Для железнодорожных насыпей, возведенных из местных грунтов с явно выраженными тиксотропными свойствами, в алгоритмах мониторинга должна быть предусмотрена возможность выработки решения на понижение или повышение скорости движения поездов в случае попадания преобладающих частот в «опасный» диапазон.

В заключение следует отметить целесообразность дальнейших экспериментальных исследований влияния вибродинамического воздействия подвижного состава на проблемные насыпи, состоящие из связных грунтов, склонных к тиксотропии, особенно в периоды оттаивания и наибольшего водонасыщения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р ИСО 14837-1-2007 Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые рельсовым транспортом. Часть 1. Общее руководство.
2. Коншин Г. Г. Вибрационный метод диагностики насыпей // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 10. – С. 22–25.
3. Каменский В. Б. Направления совершенствования системы ведения путевого хозяйства. – М.: НИИТКД, 2009. – 392 с.
4. EN13481-6:2002 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration. [Электронный ресурс]: <http://pandia.ru/text/78/013/2526-6.php>. Доступ 25.04.2016.

5. VDI 3837:2006 Ground-borne vibration in the vicinity of local public transport railways. [Электронный ресурс]: <http://www.complexdoc.ru/text/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%98%D0%A1%D0%9E%2014837-1-2007/88>. Доступ 25.04.2016.

6. DIN45672 Vibration measurement associated with railway traffic systems. [Электронный ресурс]: http://www.iso.org/iso/catalogue_icsBrowse?ICS1=17&ICS2=160. Доступ 25.04.2016.

7. ISO 2017-2:2007 Mechanical vibration and shock – Resilient mounting systems – Part 2: Technical information to be exchanged for the application of isolation vibration associated with railways systems. [Электронный ресурс]: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293792/4293792717.htm>. Доступ 25.04.2016.

8. Jonsson, J. O. On ground and structural vibrations related to railway traffic // PhD Thesis, Chalmers University of Technology. – Sweden, 2000. [Электронный ресурс]: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:9046/fulltext01.pdf>. Доступ 25.04.2016.

9. Krylov, V. V. Noise and vibration from high speed trains // Thomas Telford, 2001. [Электронный ресурс]: <https://books.google.ru/books?id=7QqkAgAAQBAJ&pg=PA507&lpg>. Доступ 25.04.2016.

10. Madhus, C., Bessason, B., Harvik, L. Prediction model for low frequency vibration from high speed railways on soft ground // Journal of Sound and Vibration. – 1996. – 193(1). – P. 195–203.

11. Talbot, J. P. On the performance of base-isolated buildings: A generic model // DPhil, Cambridge University. – 2001. [Электронный ресурс]: <http://www.skonline.ru/digest/52553.html?page=10>. Доступ 25.04.2016.

12. Sharif, A. K. Dynamic performance investigation of base isolated structures // PhD, Imperial College of Science and Technology, London. – 1999. ●

Координаты авторов: Буромбаев С. А. – sultan_burombaev@mail.ru, Замуховский А. В. – miit.ppx@gmail.com, Квашнин М. Я. – kvashnin_mj55@mail.ru.

Статья поступила в редакцию. 25.04.2016, принята к публикации 19.07.2016.