

ВИБРАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ НА ГРУНТ ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКИ НАСЫПИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

VIBRATING INFLUENCE OF MOVING LOAD ON THE GROUND MAIN PLATFORM OF THE EMBANKMENT SUBGRADE

ВЛ-80 электровозу ар кыл ылдамдык менен жүрүп баратканда темир жолдун жер каптамынын төгүлгөн туруктуу бетиндеги негизги аянттын түбү кантип тигинен термелет, ушул мүнөздөмөнүн өлчөмдөрүнүн жыйынтыгы берилди. Термелүү процессинин параметрлери локомотивдин кыймылынын ылдамдыгына көз каранды болору аныкталды, ошол үчүн темир жана автомобиль жолдорунун жер каптамына төгүлгөн бетин мониторинг жүргүзүп жатканда кыймыл ылдамдыгы баалоочу критерийлерди бири болуп саналат.

***Ачкыч сөздөр:** термелүү, жер каптамына төгүлгөн топурак, кыймыл ылдамдыгы, виброкаторулуу.*

Приведены результаты измерений характеристик вертикальных колебаний бровки основной площадки устойчивой насыпи земляного полотна железнодорожного пути при воздействии электровоза ВЛ-80^с с различными скоростями движения. Выявлены зависимости параметров колебательного процесса от скорости движения локомотива, которые могут использоваться в качестве критериев оценки при разработке систем мониторинг насыпей земляного полотна железных и автомобильных дорог.

***Ключевые слова:** колебания, насыпь земляного полотна, скорость движения, виброперемещения.*

The results of the measurements of the vertical oscillations of brow of main platform of stabilized embankment roadbed of railway track under the influence of an electric overhead VL-80^c with different velocities are given. The dependences of the vibrational process parameters on the speed of the locomotive, which can be used as criteria for evaluating in developing of monitoring systems of embankments of road bed of railways and roads are presented.

***Keywords:** fluctuations embankment roadbed, speed, vibration displacement.*

Одной из приоритетных задач развития Республики Казахстан является совершенствование и модернизация транспортного строительства, включая железные и автомобильные дороги. В связи с расширением объема товарооборотов и грузоподъемности перевозок увеличиваются требования к прочности и надежности транспортных сооружений, а это требует более полного учета и выявления тех факторов, которые существенно влияют на несущую способность сооружений при динамических воздействиях [1].

В данной работе приведены результаты измерений характеристик вертикальных колебаний бровки основной площадки устойчивой насыпи земляного полотна железнодорожного пути при воздействии электровоза ВЛ-80^с с различными скоростями движения и на их основании получены зависимости пикового значения виброперемещений от скорости движения. Эти данные позволяют совершенствовать и приблизить динамические модели транспортных конструкций к реальному поведению.

В мировой практике оценку вибрационных воздействий на элементы конструкции железнодорожного пути принято производить путем измерения скорости колебательного

процесса [2-5]. Скорость колебательного процесса принята за основу и внесена в различные национальные стандарты развитых стран и международные стандарты ISO при оценке уровня вибрации. Кроме того, данным параметром можно характеризовать энергию сейсмических волн, действующих на конструкцию, и исследовать колебания элементов железнодорожного пути при вибродинамическом воздействии подвижной нагрузки методами и средствами, используемыми в сейсмике.

Известно, что при наложении вибрационного воздействия с другими частотами на основной фон динамического воздействия сопротивляемость среды резко снижается. Происходит это вследствие уменьшения коэффициента трения и сцепления между шпалами и частицами балластного основания, а также проявления при определенных условиях (вибрации и одиночные удары) такого явления, как тиксотропия грунта. Воздействие на грунты земляного полотна динамических нагрузок, вызывающих колебательные движения грунта, исследовалось не достаточно полно. По этому вопросу имеются некоторые данные, относящиеся к железным дорогам. Например, если земляное полотно возведено из увлажненных глинистых грунтов, то вибрации, возникающие при проходе груженого поезда с общей массой 4500-4800 т, могут снизить модули сдвига грунтов на 45-48%. При проходе с той же скоростью (70 км/ч) порожнего поезда модуль уменьшается уже на 15-20%, а при пассажирском, т. е. более легком составе - на 8-16%.

Таким образом, имеется зависимость тиксотропных свойств грунтов от интенсивности воздействия, которая в данном случае определяется массой движущегося поезда. Такое же явление происходит и на грунтовых насыпях автомобильных дорог при движении автомобилей. Очевидно, что возникновению вибраций в грунтах способствуют колебательные движения подрессоренных масс и общей массы автомобиля в результате упругости рессор и шин. Возникновению таких колебаний способствуют неровности дорожного покрытия. Большой практический интерес представляет восстановление первоначального состояния грунта, т. е. процесс тиксотропного упрочнения. Оказалось, что после прохода поезда этот процесс идет до конца, т. е. начальные свойства грунта полностью восстанавливаются. Восстановление происходит вначале быстро, а затем замедленно. Первоначальное значение модуля сдвига восстанавливается за 60-70 мин. Если периодичность движения поездов будет меньше этого времени, то возможно появление остаточных деформаций.

На магистральных автомобильных дорогах происходит интенсивное движение автомобилей, поэтому тиксотропные изменения грунтов приводят к остаточным деформациям грунта, а следовательно, и к деформациям дорожных покрытий. При движении автомобилей тиксотропные превращения грунтов наблюдаются всегда. Однако важно, чтобы они не вышли за допустимые пределы. Практически они уже не оказывают влияния на устойчивость грунтов в случаях, когда грунты уплотнены до плотности, превышающей $0,93\delta_{\max}$, и когда влажность их не выше оптимального значения. Следовательно, тщательное уплотнение грунтов и недопущение в них влаги является весьма эффективным средством снижения тиксотропных разупрочнений. Когда хотя бы одно из этих условий не соблюдается, во избежание разрушений дорожных покрытий, связанных с интенсивным увлажнением грунтов, приходится ограничивать или же полностью закрывать движение автомобилей.

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 основную площадку земляного полотна.

Для выявления закономерностей колебаний основной площадки под подвижной нагрузкой, исследования выполнялись при известных осевой нагрузке и параметрах источника вибрации. Так как, на исследуемом участке железнодорожного пути, основным

средством тяговой силы являлся электровоз ВЛ-80^с, он и был выбран в качестве источника возбуждения при анализе закономерностей колебательного процесса. Статическая нагрузка от колеса на рельс для локомотива ВЛ-80^с составляет $P_{cm}=12$ т.

В качестве средства измерений использовался мобильный виброизмерительный комплекс с пакетом прикладных программ по обработке и визуализации данных. Технические характеристики, методика тарировки и программное обеспечение мобильного виброизмерительного комплекса достаточно подробно изложены в [6].

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. табл. 1). Скорость проходящих поездов определялась при помощи радиолокационного измерителя скорости движения транспортных средств «Искра – 1» и уточнялась по виброграммам.

Из анализа результатов измерений параметров колебаний бровки основной площадки земляного полотна, возникающих при движении локомотива ВЛ-80^с, 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 электровоза от 45 до 103 км/ч совпадают между собой и изменяются в диапазоне от 29 до 56 Гц.

Таблица 1 - Количество записей при различных скоростях движения электровоза ВЛ-80^с

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

В качестве примера, на рисунках 1-3, приведены амплитудно-временные (см. рис. 1-3. а) и амплитудно-частотные (см. рис. 1-3. б) характеристики виброскоростей, виброперемещений и виброускорений, зафиксированные на бровке основной площадки земляного полотна при проходе локомотива ВЛ-80^с 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 не приемлемы в качестве обобщенных критериев оценки.

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

Минимальное измеренное пиковое значение виброперемещения (19 мкм) получено 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^с. Полученная зависимость описывается полиномом второй степени: $s_p=0,0025V^2-0,1066V+20.759$ с коэффициентом детерминации 0,8428 в диапазоне изменения скорости от 0 до 103км/ч. Значение ординаты s_p в нулевой точке соответствует упругому статическому перемещению 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).

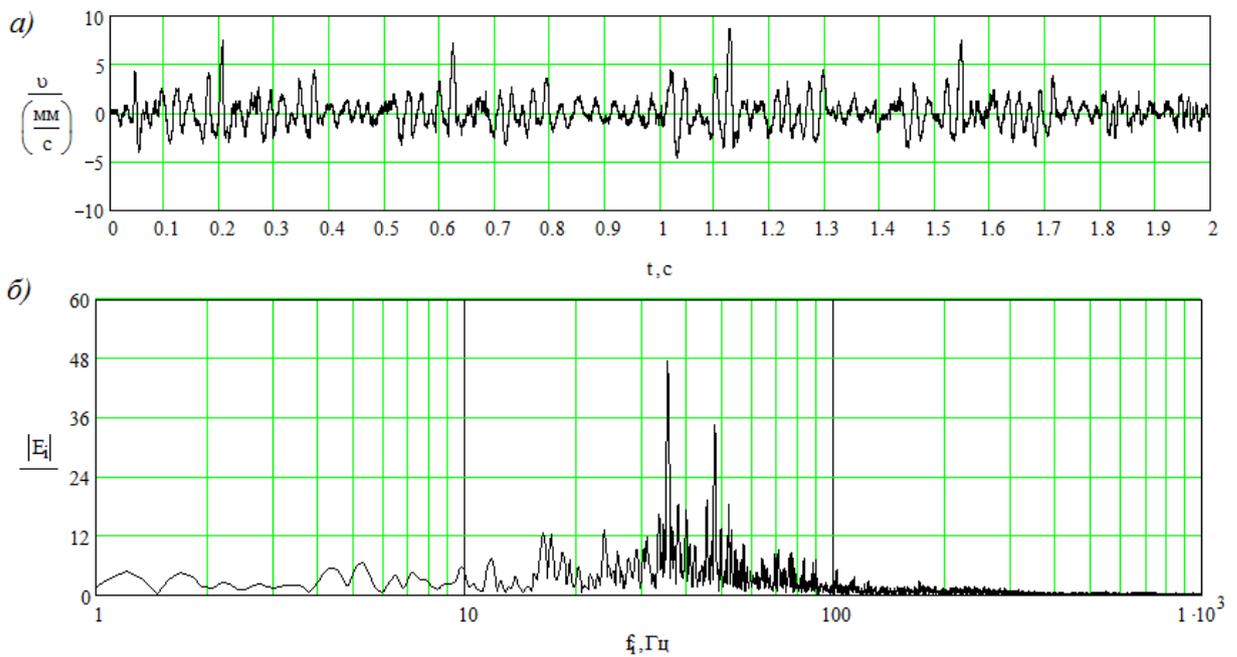


Рис. 1. а) – виброграмма колебаний грунта на бровке основной площадки земляного полотна, б) – спектр виброграммы при прохождении локомотива ВЛ80^с со скоростью 71 км/ч (максимальный спектральный выброс на частоте 35,8 Гц)

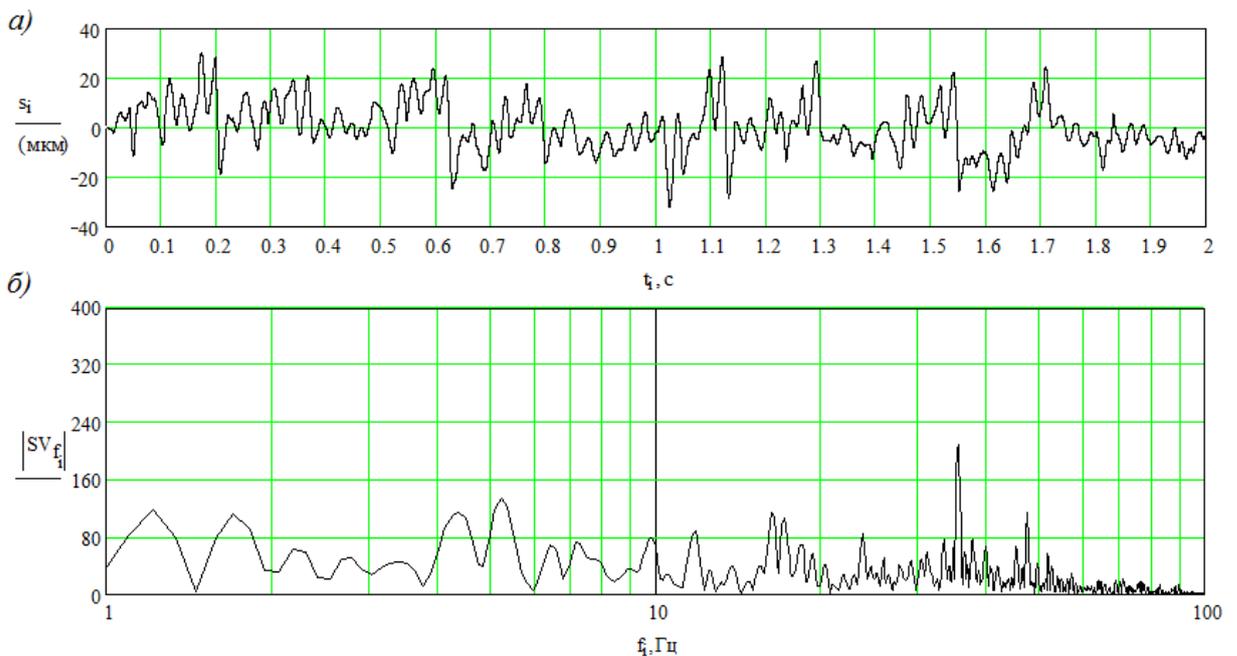


Рис. 2. а) – осциллограмма колебаний грунта на бровке основной площадки земляного полотна, б) – спектр осциллограммы при прохождении локомотива ВЛ80^с со скоростью 71 км/ч (максимальный спектральный выброс на частоте 35,8 Гц)

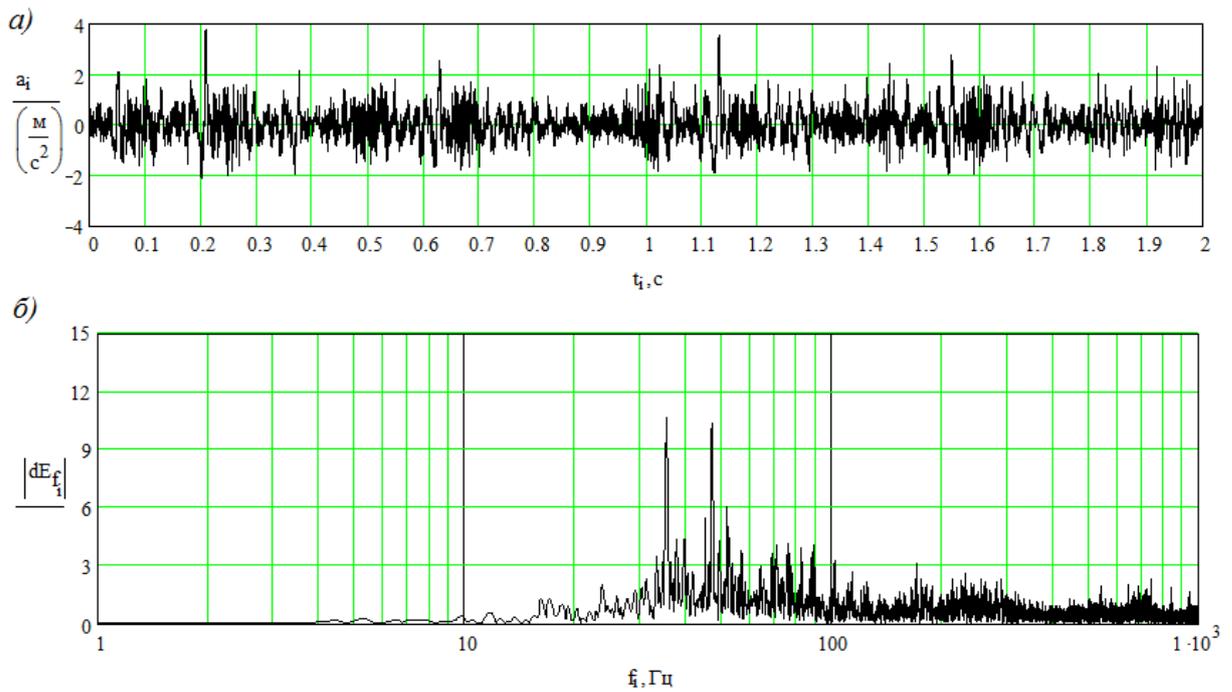


Рис.3. а) – акселерограмма колебаний грунта на бровке основной площадки земляного полотна, б) – спектр акселерограммы при прохождении локомотива ВЛ80^с со скоростью 71 км/ч (максимальный спектральный выброс на частоте 35,8 Гц)

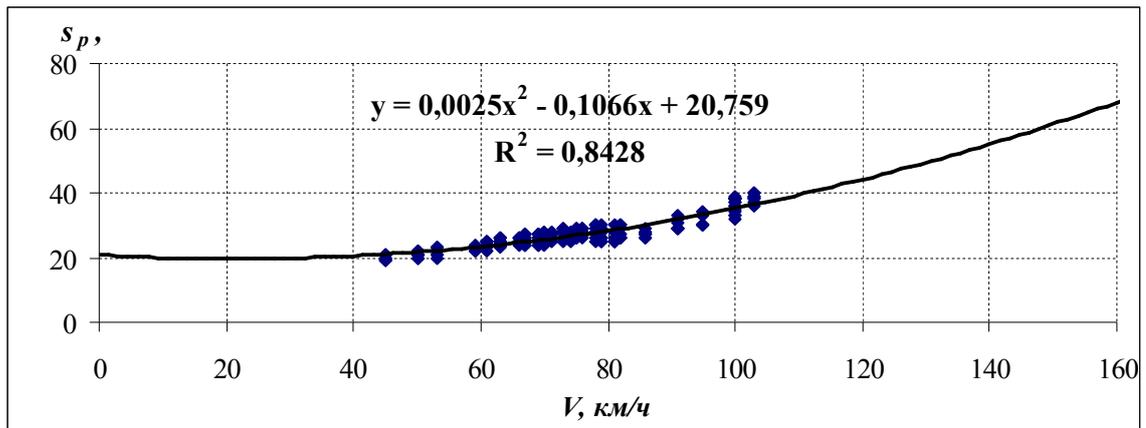


Рис. 4. Зависимость пикового значения виброперемещения на бровке основной площадки земляного полотна от скорости движения электровоза ВЛ-80^с

На рис. 5. представлен график зависимости преобладающих частот колебаний (максимальных выбросов на спектрах) от скорости локомотива.

Скорости подвижного состава от 66 до 86 км/ч, при которых наблюдаются колебания с преобладающими частотами от 43 до 56 Гц, можно охарактеризовать как «опасные», так как при этих частотах повышается вероятность тиксотропных явлений в грунте, способных вызвать понижение его прочностных и деформационных характеристик.

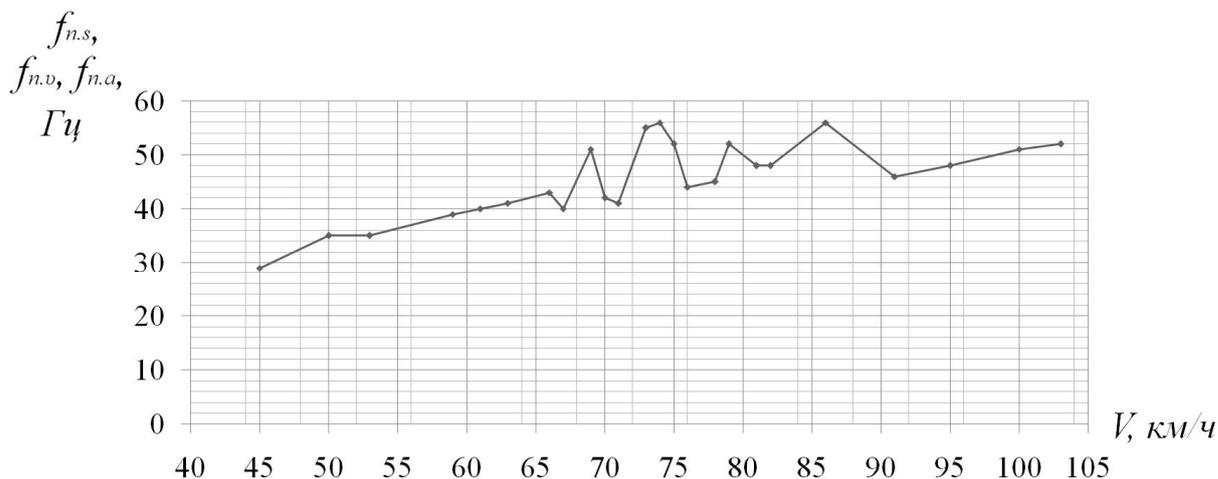


Рис. 5. График зависимости преобладающих частот колебаний от скорости движения локомотива

На рис. 6. показана зависимость среднеквадратического значения виброперемещения на основной площадке земляного полотна от скорости движения электровоза ВЛ-80^с. Зависимость имеет вид линейной функции $s_e=0,1255V$ с коэффициентом детерминации 0,875.

При достижении скорости движения локомотива 40 км/ч среднеквадратическое значение виброперемещения достигает 5 мкм, увеличение скорости от 40 до 80 км/ч дает увеличение среднеквадратического значения виброперемещения в два раза (10 мкм). Дальнейшее увеличение скорости от 80 до 120 км/ч приводит к увеличению среднеквадратического значения виброперемещения в 3 раза больше чем на скорости 40 км/ч.

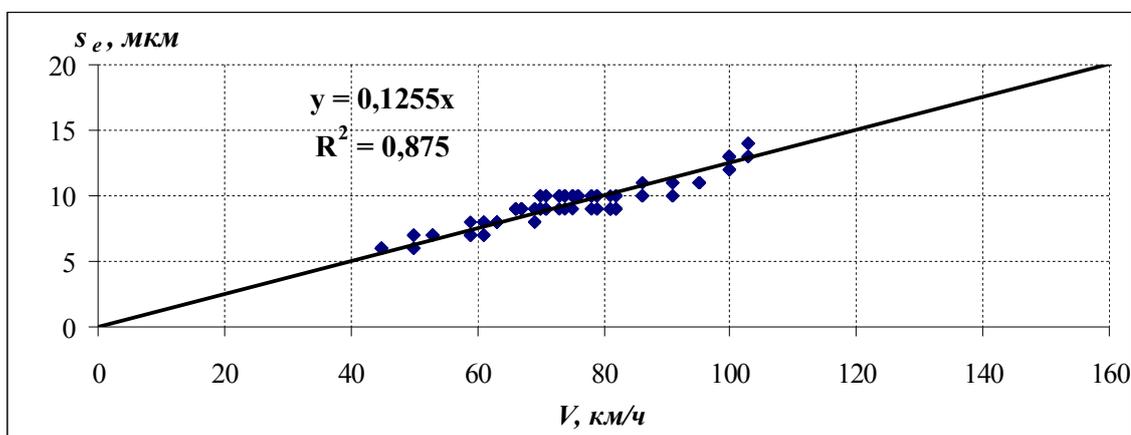


Рис. 6. Зависимость среднеквадратического значения виброперемещения на основной площадке земляного полотна от скорости движения электровоза ВЛ-80^с

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

Выводы:

- разрушительное действие колебаний, возникающих на бровке основной площадки земляного полотна при движении электровоза ВЛ-80^с, 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^с, характеризуемое пиковым значением виброперемещения, аппроксимируется параболой $s_p=0,0025V^2-0,1066V+20,759$ с коэффициентом детерминации 0,8428;

- при разработки методики мониторинга железнодорожных и автодорожных насыпей необходимо использовать комплекс показателей, включающие определение физико-механических свойств грунтов и измерения динамического воздействия подвижного состава;

- для 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 земляного полотна, состоящие из связных грунтов, склонных к тиксотропии. Эти данные можно использовать при разработке динамической модели дорожных одежд.

Список литературы

1. Исаханов Е.А. Особенности анализа результатов динамических испытаний искусственных сооружений [Текст] / Е.А. Исаханов, М.Я.Квашнин и др. // Вестник КазАТК. - Алматы: 2012. - №2. - 4-9 с.

2. ГОСТ Р ИСО 14837-1-2007 Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые рельсовым транспортом. Часть 1. Общее руководство.

3. Коншин Г.Г. Вибрационный метод диагностики насыпей [Текст] / Г.Г.Коншин // Путь и путевое хозяйство. - 2007. - №10. — С. 22-25.

4. EN 13481-6:2002 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration.

5. VDI 3837:2006 Ground-borne vibration in the vicinity of local public transport railways.

6. Квашнин Н. М. Исследование механических колебаний железнодорожного пути [Текст]: Дисс. ... канд. тех. наук./ Н.М.Квашнин. - Алматы: 2010. – 144 с.