

УДК 625.12:624.131.55

К.В. ВОСТРИКОВ, В.Н. БЕЛОБОРОДОВ, Ю.П. СМОЛИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО, ЗАКРЕПЛЕННОЕ НАПОРНОЙ ИНЪЕКЦИЕЙ

Искусственное усиление прочности грунтов в строительстве находит все более широкое применение. Для реализации этой технологии используется более 20 различных способов. Одним из таких способов является метод напорной инъекции.

На участке железнодорожной магистрали в Алтайском крае (рис. 1, *а*) произошла деформация насыпи в результате образования пустот и воронок (рис. 1, *б*) вследствие выноса частиц грунта через швы водопропускной трубы, находящейся под насыпью.

а)



б)



Рис. 1. Общий вид участка железнодорожной магистрали в Алтайском крае (*а*); воронка провала грунта в откосе насыпи (*б*)

Для устранения появления дополнительных деформаций и увеличения прочности грунтов насыпи на этом участке земляного полотна в 2003 г. был применен метод напорной инъекции цементно-песчано-глинистым раствором.

Общая ширина насыпи над трубой составляет 87,0 м. Максимальная высота — 18,5 м. Средние уклоны откосов насыпи — 1 : 1,3. Верхнее строение пути представлено бесстыковым путем на щебеночном балласте с железобетонными шпалами, рельсы Р65. Насыпь сложена супесями твердой консистенции.

Закрепление было произведено по контуру насыпи на глубину более 6 м, в результате чего сформировался массив закрепленного грунта. Условный контур закрепленного массива грунта железнодорожной насыпи показан на рис. 2.

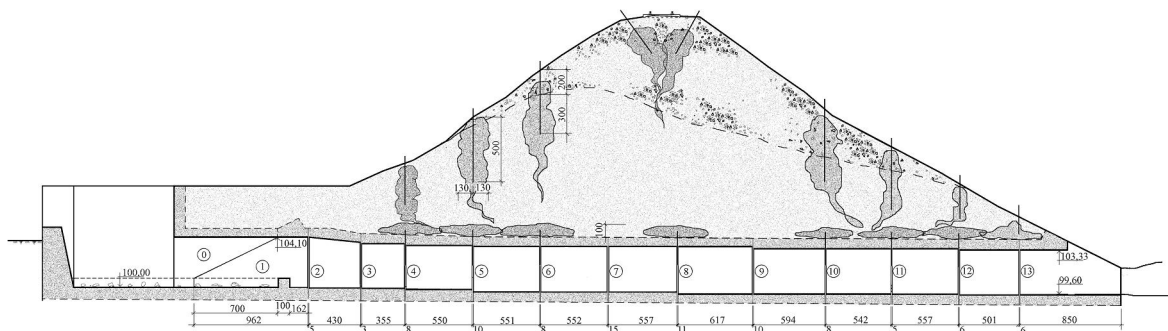


Рис. 2. Условный контур закрепленного массива грунта железнодорожной насыпи

В соответствии со стратегией развития сети железных дорог и железнодорожного транспорта запланировано повышение осевых нагрузок и скорости движения поездов. В связи с этим необходимо оценить прочность грунтов указанного выше закрепленного участка насыпи и выявить насколько можно повысить предельное состояние насыпи по прочности.

Известно, что прочность, стабильность и устойчивость грунтов насыпи зависит, в том числе и от динамического воздействия поездной нагрузки. Решение вопросов прочности земляного полотна железных дорог должно осуществляться на основе фактических результатов исследований вибродинамического воздействия поездов на насыпь.

Авторами данной статьи была поставлена цель исследовать динамическое воздействие поездов на закрепленный участок насыпи. Для решения этой задачи производились эксперименты по замеру ускорений колебаний от воздействия поездной нагрузки в откосной части закрепленного и незакрепленного напорной инъекцией участков насыпи. Исследуемые участки насыпи располагались на расстоянии 60 м друг от друга.

Для замера амплитуд ускорений колебаний в земляном полотне в шурфах глубиной 0,6 м по откосу устанавливались высокочувствительные двухкомпонентные пьезоэлектрические низкочастотные датчики (акселерометры) с антивибрационным кабелем и усилителем. Верхний датчик располагали на бровке земляного полотна. Всего было установлено три акселерометра на расстоянии 5 м друг от друга. Далее шурфы засыпались извлеченным грунтом с послойным уплотнением. С помощью датчиков фиксировались вертикальные и горизонтальные (в поперечном направлении насыпи) ускорения колебаний.

Измерительный комплект и принципиальная схема проведения замеров параметров ускорений колебаний грунтов насыпи при воздействии поездной нагрузки представлены на рис. 3.

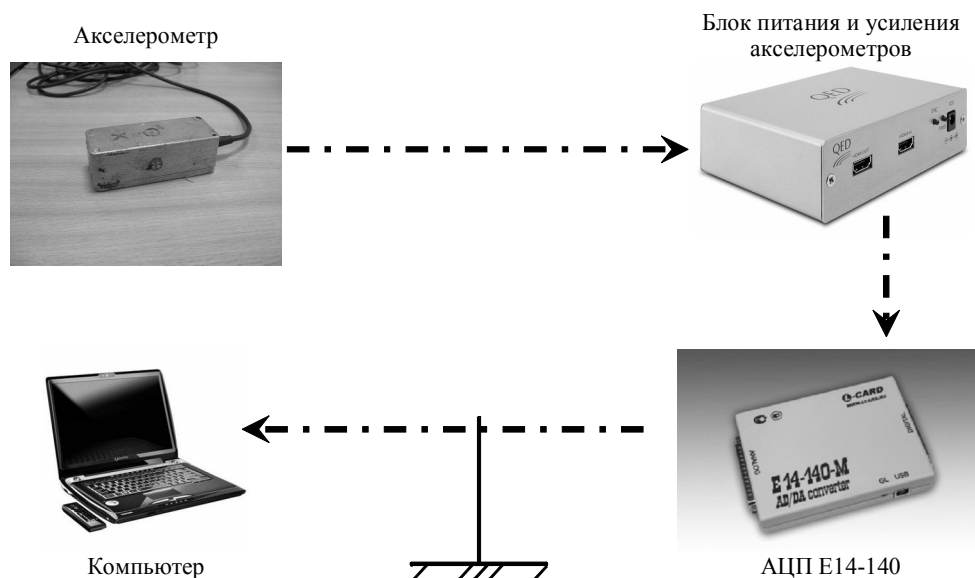


Рис. 3. Измерительный комплект и принципиальная схема проведения замеров параметров ускорений колебаний грунтов насыпи при воздействии поездной нагрузки

Этот комплект обеспечивал качественную регистрацию сигналов малой ($0,02 \text{ м/с}^2$) амплитуды при регистрируемых частотах от 1 Гц до 200 Гц. Электрический сигнал с акселерометров оцифровывался 12-разрядным аналого-цифровым преобразователем L-Card E14-140 и записывался в память компьютера типа «ноутбук».

На рис. 4 показан рабочий момент замера колебаний грунтов насыпи при прохождении поезда. Замер производился при движении пассажирских поездов примерно со скоростью 60 км/ч, грузовых — 30 км/ч. Вагоны грузовых составов оказывали разнообразные по характеру нагрузки, запись производилась при движении всего состава.



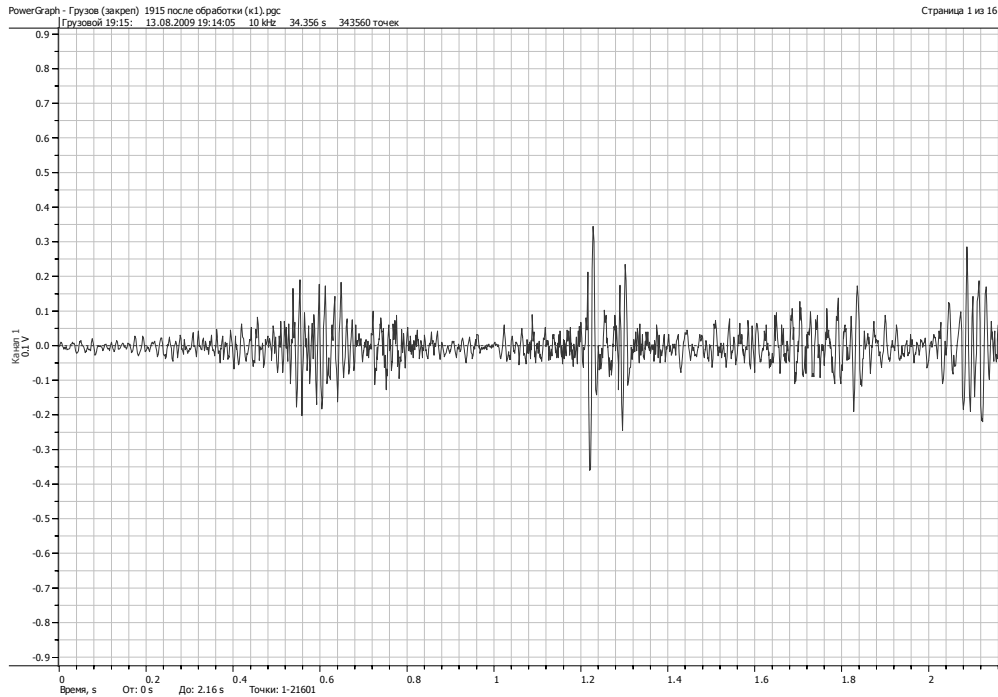
Рис. 4. Рабочий момент замера колебаний насыпи при движении пассажирского поезда

Цифровой способ регистрации параметров колебаний существенно упростил дальнейшую обработку записанного сигнала с помощью применения программного комплекса «PowerGraph Professional v.3.3» [1]. При обработке устанавливались величины вертикальных и горизонтальных составляющих ускорения колебаний.

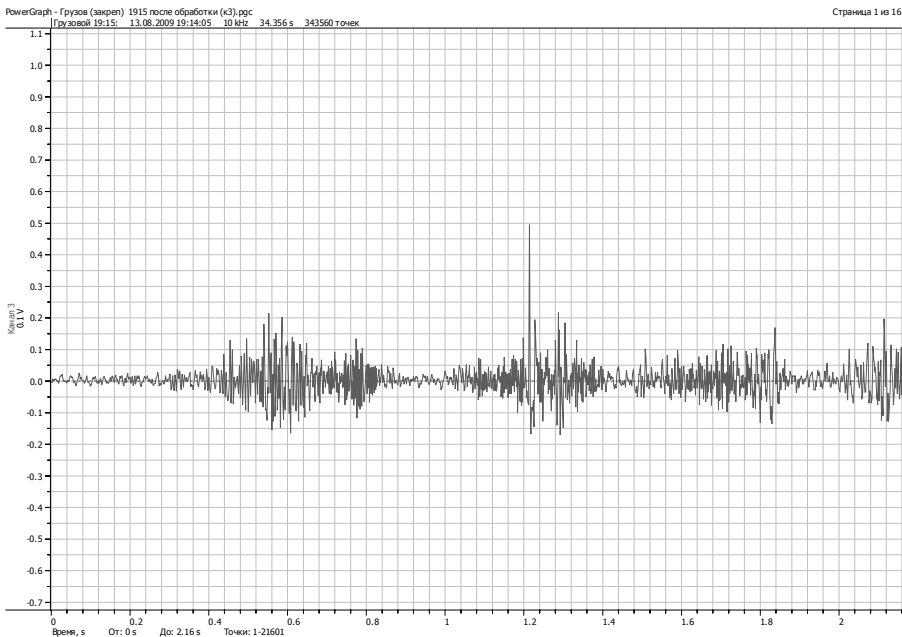
По составленным на основании опытных данных акселерограммам виброускорений строились амплитудно-частотные спектры.

На рис. 5 приведены результаты обработки полученных данных при движении грузового состава по путям закрепленного участка насыпи.

а)



б)



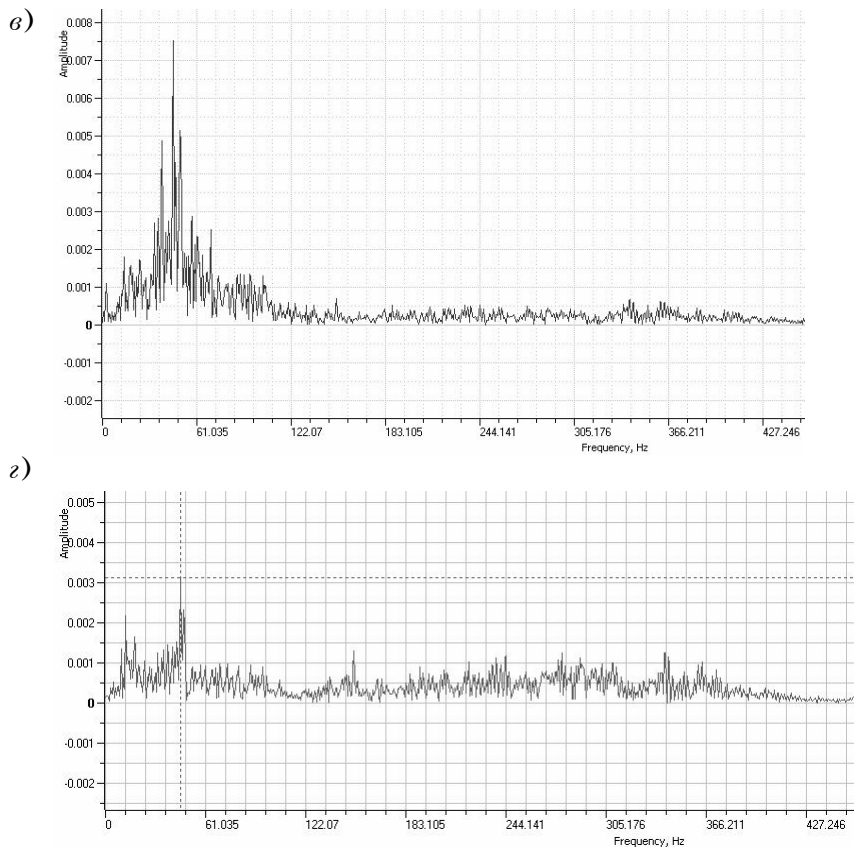
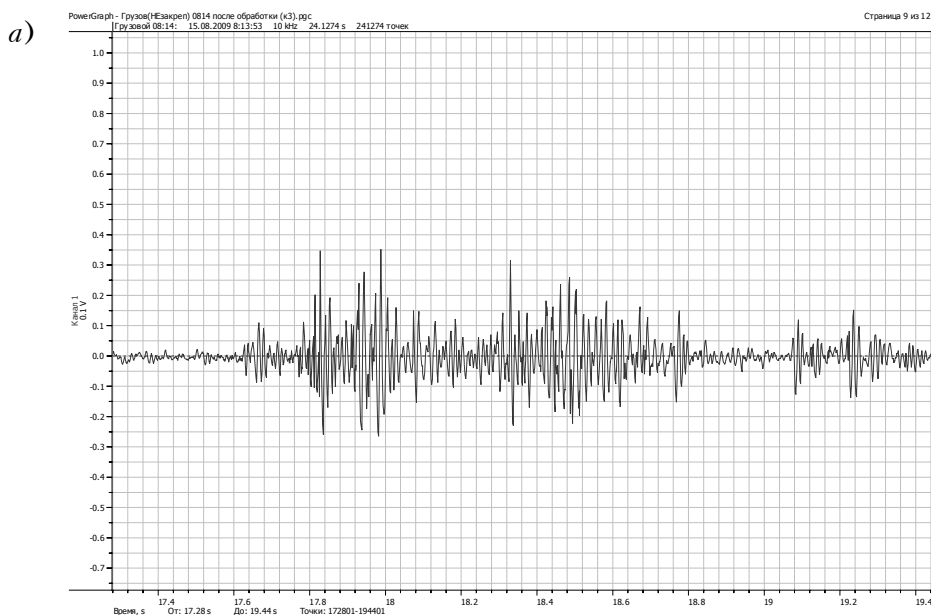


Рис. 5. Результаты обработки полученных данных при движении грузового состава по закрепленному участку насыпи:
a – фрагмент акселерограммы вертикальных колебаний; *б* – фрагмент акселерограммы горизонтальных колебаний; *в* – амплитудно-частотный спектр вертикальных ускорений колебаний; *г* – амплитудно-частотный спектр горизонтальных ускорений колебаний

На рис. 6 представлены результаты обработки полученных данных при движении грузового состава по путям незакрепленного участка насыпи.



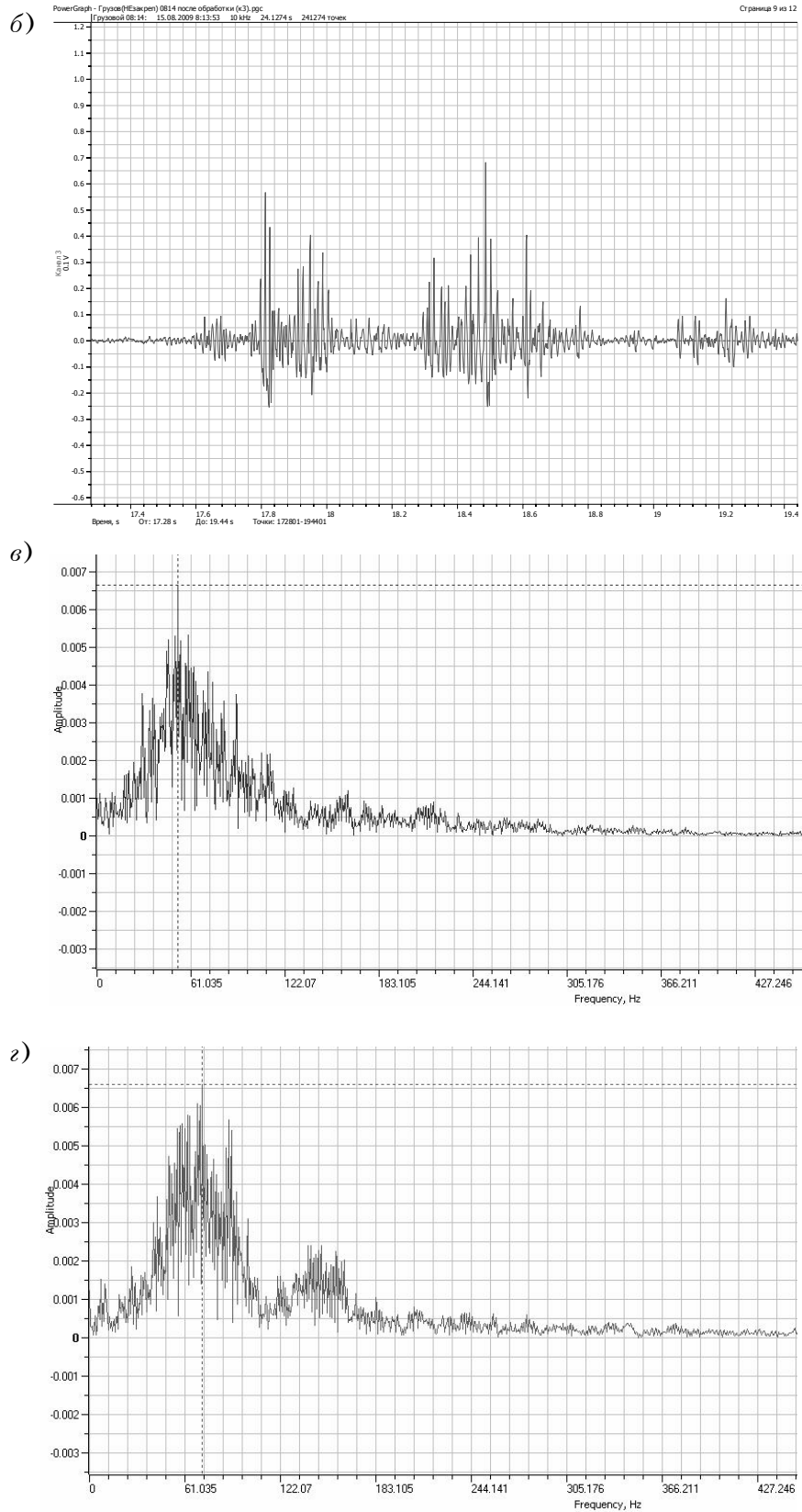


Рис. 6. Результаты обработки полученных данных при движении грузового состава по незакрепленному участку насыпи:
 а – фрагмент акселерограммы вертикальных колебаний; б – фрагмент акселерограммы горизонтальных колебаний; в – амплитудно-частотный спектр вертикальных ускорений колебаний; г – амплитудно-частотный спектр горизонтальных ускорений колебаний

Выявлено, что в колебательном процессе присутствуют частоты от 0 до 400 Гц. В результате анализа частот колебаний при максимальных ускорениях было установлено, что частоты в незакрепленном участке насыпи выше как для вертикальных, так и для горизонтальных амплитуд колебаний. Для пассажирских поездов эта разница составила 20 %, а для грузовых — 10 %. Частоты, которым соответствуют максимальные ускорения, представлены в нижеследующей таблице.

Тип поезда	Частота, Гц			
	Закрепленный участок		Незакрепленный участок	
	По вертикали	По горизонтали	По вертикали	По горизонтали
Пассажирский	45	45	60	55
Грузовой	55	55	60	60

Результаты определения величин вертикальных и горизонтальных ускорений по откосам участков насыпи показаны на рис. 7.

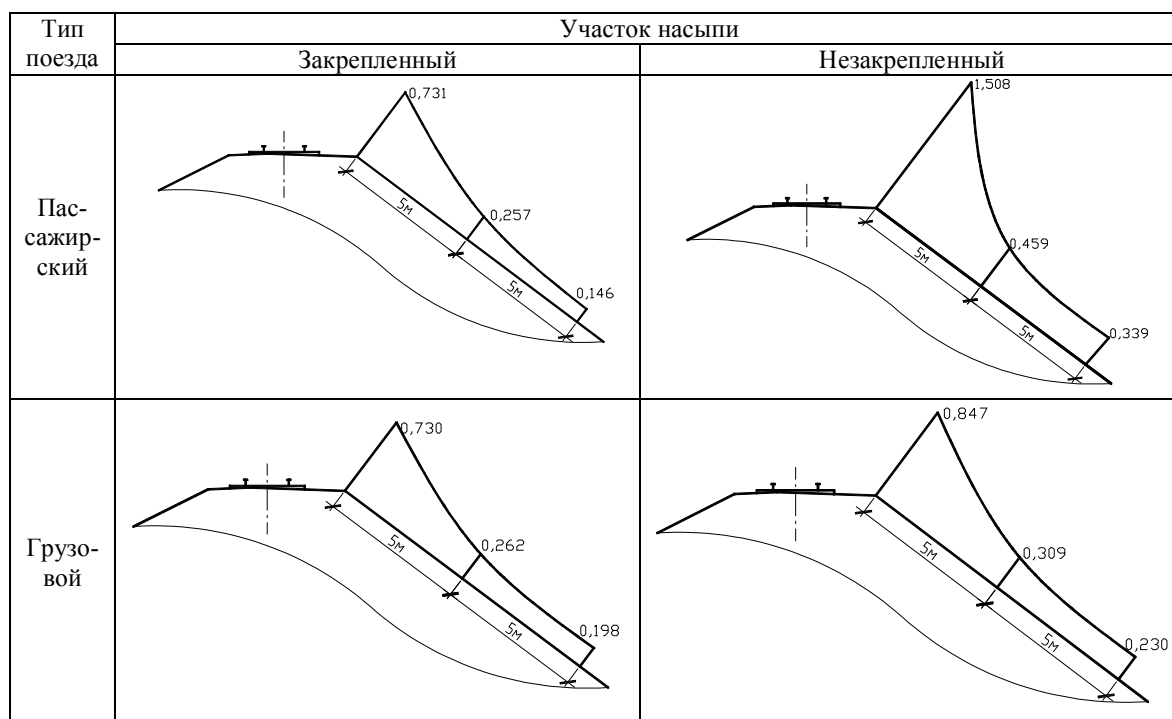


Рис. 7. Результирующие параметры вертикальных и горизонтальных ускорений по откосам участков насыпи

Из рисунка видно, что ускорения колебаний достаточно быстро уменьшаются по длине откоса. Коэффициенты загасания амплитуд ускорений колебаний по откосу насыпи для этих амплитуд составляют в среднем 0,15 для пассажирских поездов и 0,17 для грузовых поездов. При этом на расстоянии 10 м от бровки земляного полотна ускорения уменьшаются примерно в 5 раз. Это свидетельствует о том, что динамика от воздействия поездной нагрузки влияет на устойчивость откосов насыпей в верхней части земляного полотна.

Таким образом, в расчетах устойчивости насыпи надо учитывать динамическое воздействие поездов на верхнюю часть земляного полотна, которая в

результате будет иметь наименьшее значение коэффициента устойчивости независимо от высоты насыпи.

Библиографический список

1. *Программное обеспечение «PowerGraph v.3.3»*. Руководство пользователя. ООО «Интероптика-С». 60 с.
2. *Коншин Г.Г.* Исследование колебаний грунта в откосах насыпей // Вестн. Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 1974. № 6. С. 42–45.
3. *Смолин Ю.П.* Динамическое воздействие поездов на земляное полотно // Железные и автомобильные дороги в условиях Сибири: Сб. науч. тр. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2008.
4. *Проект* упрочнения грунтов деформируемого земляного полотна на ж.-д. насыпи на 87-м км. ПК 4+95 перегона Алтайская – Бийск Западно-Сибирской ж. д. Новосибирск, 2004.