

УДК 625.12.033.38

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ИЗ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ

Абдукамилов Ш.Ш.,
к.т.н., (ТашИИТ)

Организация высокоскоростного движения на сети железных дорог Узбекистана тесно связана с обеспечением надежности железнодорожных линий, в частности нижнего строения пути, как конструкции, оказывающей значительное влияние на безопасность движения поездов. Увеличение вибродинамического воздействия от скоростного и высокоскоростного движения является одной из важнейших причин возникновения больших деформаций и смещений грунтов земляного полотна. Известно, что на магистралях, где внедряется такое движение поездов, регистрируется увеличение числа больных мест земляного полотна, причем появление интенсивных деформаций совпадает с началом эксплуатации этих составов.

Интенсивность вибродинамического воздействия на земляное полотно принято оценивать величиной ускорения частиц грунта возникающей от движущегося подвижного состава. При определенных значениях ускорений структурные связи в грунтах земляного полотна разрушаются, вследствие чего возникают большие остаточные деформации. В связи с этим, возникает необходимость в оценке характера и интенсивности колебаний грунта земляного полотна, возможные пределы их изменений в зависимости от скорости движения и веса поездов, расстояния до исследуемой точки.

Следует отметить, что последствия вибрационных и силовых воздействий поездов зависят не только от их величины, но и от свойств и состояния грунтов, слагающих земляное полотно. Приведенные факторы оказывают существенное влияние на распространение волн в грунте.

Анализ выполненных работ по изучению распространения волн в грунтах железнодорожного земляного полотна, вызываемых проходящими поездами [1-7] показал, что исследования в этой области не являются достаточным ввиду многообразия грунтов и инженерно-геологических условий. Поэтому нами были произведены наблюдения и исследования колебательного процесса земляного полотна, отсыпанного барханными песками. Натурные испытания производились в летнее время года на 3904 км участка Бузаубай – Мискен железных дорог Узбекистана, где земляное полотно сооружено полностью из барханных песков в 2002 году.

Верхнее строение пути представляет из себя звеньевой путь с рельсами Р65 на железобетонных шпалах эпурой 1840 шт/км, крепления типа КБ. Толщина балластной призмы выбранного участка составляет 30-40 см. Земляное полотно представлено насыпью высотой 1 м и шириной основной площадки 7 м. Участок проведения экспериментов расположен на горизонтальной площадке. Интенсивность движения поездов в период наблюдений составляла для грузовых 10 поездов в сутки, для пассажирских 5 поездов в сутки. Установленная максимальная скорость движения по перегону для грузовых поездов составляла 80 км/ч, а для пассажирских 100 км/ч. Для тяги грузовых и пассажирских поездов использовался тепловоз 2ТЭ10, т.к. линия пока не электрифицирована.

Для проведения полевых исследований были применены сейсмоприемники СМ-3. Сейсмоприемники СМ-3 предназначены для преобразования в электрический сигнал механических колебаний как сыпучих и вязких сред, так и поверхностей сооружений, машин, конструкций и др., частотой от 5 до 200 Гц, амплитудой от 0,01 до 2 мм при допустимом ускорении до 10 м/с².

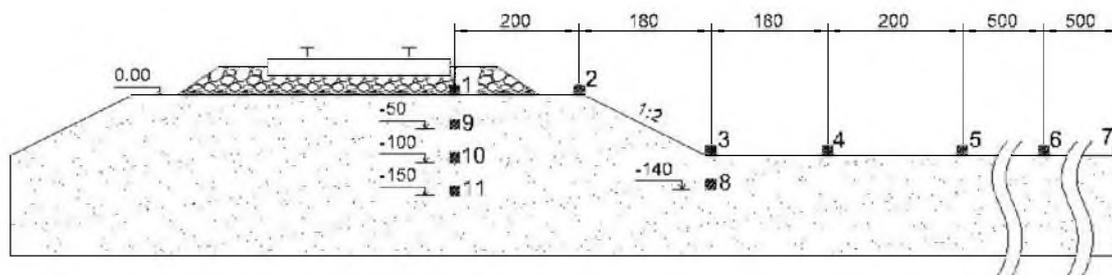


Рис. 1. Схема расположения датчиков в теле земляного полотна и за его пределами

Колебания барханных песков земляного полотна регистрировались при проходе поезда через рабочий поперечник. Запись начиналась при подходе локомотива к рабочему поперечнику и заканчивалась после прохода последнего вагона.

Колебательный процесс грунтов земляного полотна имеет ярко выраженный стохастический характер. Поэтому для получения достоверных результатов необходима статистическая обработка экспериментальных данных, которая производилась методом сумм. В статистический ряд включались по три наибольших измерений, отобранные от каждой реализации записи колебательного процесса.

Обработке подвергались результаты по каждой составляющей амплитуд колебаний. В результате получались средние и максимальные вероятные значения амплитуд колебаний при определенных скоростях движения поездов.

Максимальные вероятные значения амплитуд определялись при помощи следующего выражения:

$$A_{\max}^{\text{exp}} = A_{\text{cp}} + 2.5S \quad (1)$$

где S – среднеквадратическое отклонение.

Значение результирующих амплитуд колебаний определялось по закону векторной суммы:

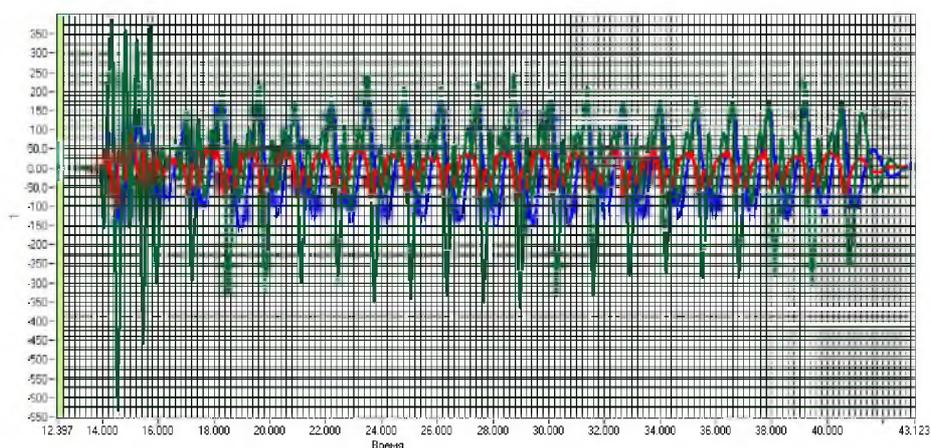
$$A = \sqrt{A_z^2 + A_y^2 + A_x^2} \quad (2)$$

где A_z – амплитуда колебаний в вертикальной плоскости; A_y – амплитуда колебаний в горизонтальной плоскости в направлении, перпендикулярном оси пути; A_x – амплитуда колебаний в горизонтальной плоскости вдоль оси пути.

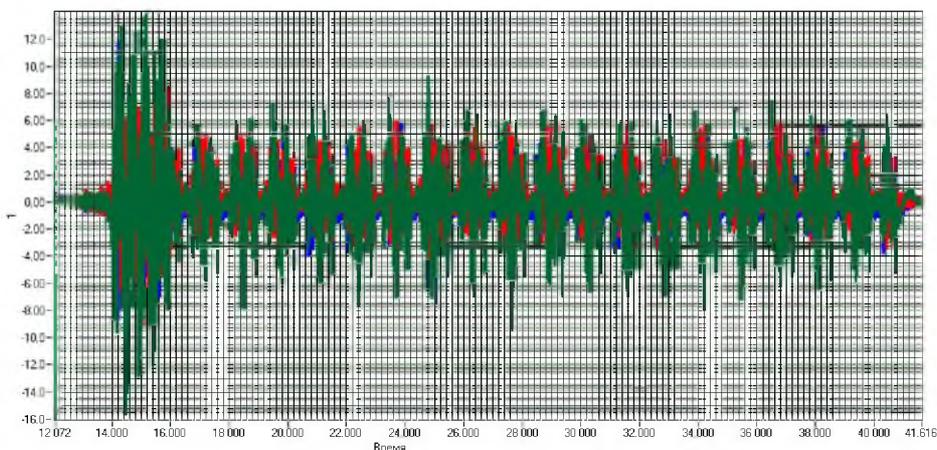
При выявлении особенностей колебательного процесса барханных песков земляного полотна особое место отводится, прежде всего, изучению характера процесса колебаний. Это способствует выяснению причин их возникновения, что очень важно не только с позиции познания самого явления, но и с точки зрения оценки влияния колебаний на свойства и состояние грунтов. Более того, знание характера колебательного процесса позволяет в дальнейшем смоделировать его в лабораторных условиях для определения степени снижения прочностных характеристик барханных песков под воздействием вибродинамической нагрузки.

Типичный пример записи колебаний барханных песков на уровне основной площадки земляного полотна, записанного, при проходе пассажирского и грузового поезда представлен на рис. 2. Для исследования характеристик колебательного процесса барханных песков на рис. 3 представлен пример записи колебаний основной площадки земляного полотна, записанного при проходе пассажирского поезда со скоростью 70 км/ч.

а) вибросмещения барханных песков при проходе пассажирского поезда со скоростью 70 км/ч



б) виброускорения барханных песков при проходе пассажирского поезда со скоростью 70 км/ч



с) вибросмещения барханных песков при проходе грузового поезда со скоростью 50 км/ч

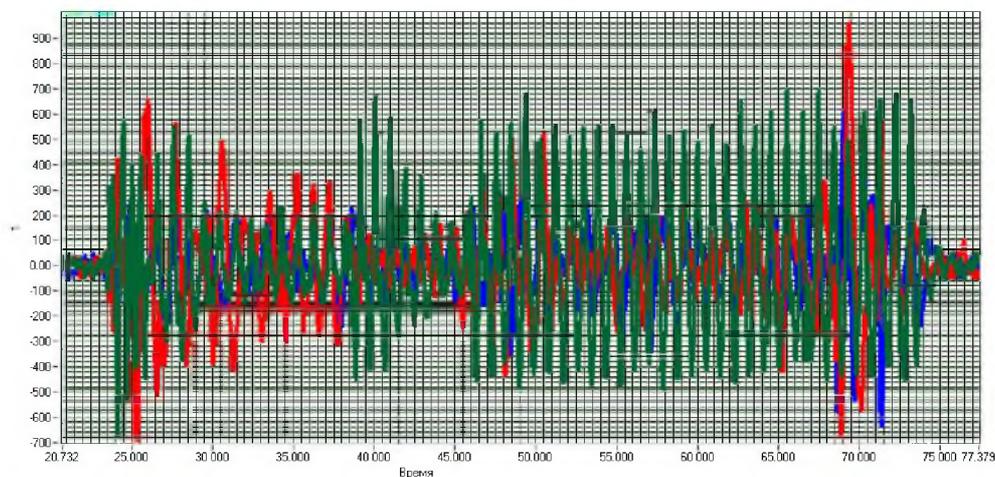


Рис. 2. Записи колебаний барханных песков основной площадки земляного полотна.

На рисунке отображены три составляющие колебательного процесса: сверху запись горизонтальных колебаний вдоль оси пути, в центре вертикальные колебания грунта, внизу – горизонтальные колебания в направлении перпендикулярном оси пути. Как видно из рисунка максимальные амплитуды колебаний регистрируются на вертикальной составляющей колебательного процесса с четкой регистрацией момента прохода осей подвижного состава.

Анализ колебательного процесса барханных песков земляного полотна при движении пассажирских поездов позволяет характеризовать каждую составляющую колебаний.

Горизонтальная составляющая вдоль оси пути (рис 3. кривая 1) выражается двумя гармониками: основной и наложенной. Амплитуда наложенной гармоники всегда на порядок меньше несущей гармоники, а частота колебаний на порядок выше. Из записей колебаний видно, что наибольшие наложенные колебания барханных песков основной площадки земляного полотна по времени регистрируются в момент прохождения колесных пар тележек локомотива и вагонов, в то время как при их отсутствии над датчиками наложенные колебания фиксируются с низкими по значению амплитудами.

Следует подчеркнуть, что такое положение имеет место только до глубины порядка 50 см от поверхности основной площадки, при большей заглублении наложенная гармоника фиксируется по всей длине основной гармоники. Характер колебаний практически не зависит ни от нагрузки на ось, ни от скорости движения поездов по участку наблюдений. Величина амплитуд колебаний и частоты с изменением скорости и веса поездов изменяется в относительно малом диапазоне.

Вертикальная составляющая колебаний (рис 3. кривая 2) барханных песков основной площадки земляного полотна имеет очень сложный характер с резкими всплесками записи и большими различиями при проходе локомотива и вагонов. Амплитуда и частота колебаний в вертикальном направлении зависят от большого числа факторов и меняются в широком диапазоне. Записи колебаний барханных песков основной площадки земляного полотна показывают, что эта составляющая разлагается на две условные гармоники – несущей и наложенной.

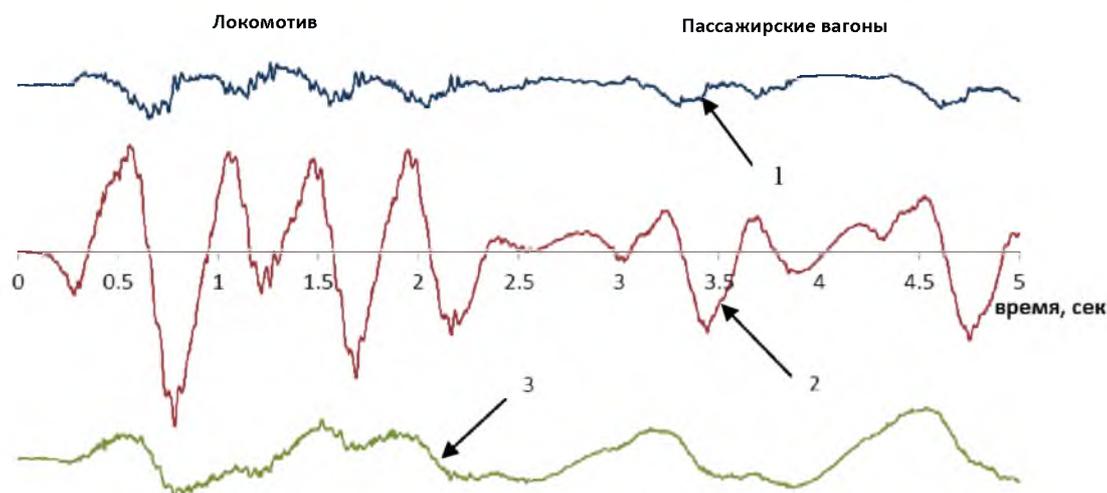


Рис. 3. Запись колебаний барханных песков основной площадки земляного полотна при проходе пассажирского поезда со скоростью 70 км/ч.

1 – Горизонтальная составляющая вдоль пути; 2 – Вертикальная составляющая;
3 – Горизонтальная составляющая поперек пути.

Несущая гармоника обусловлена проходом осей подвижного состава по участку измерений. Следовательно, возникающие среднечастотные колебания (смещения) барханных песков основной площадки земляного полотна являются функцией прямого силового воздействия подвижного состава на несущие конструкции пути. Амплитуда колебаний этой гармоники определяется существенными величинами и прямо зависит от скорости движения поездов, нагрузки на ось, места расположения рассматриваемой точки, типа и состояния пути и ходовых частей подвижного состава. На всех записях колебаний можно зарегистрировать резкие пики и впадины, почти нет сглаженных участков.

Наши эксперименты проводились с углублением точки измерения до 150 см от поверхности основной площадки земляного полотна. Записи колебаний барханных песков, записанные по всей глубине от уровня основной площадки в пределах ширины рельсошпальной решетки, позволяют выявлять момент прохода осей над датчиками по всплескам записей смещений. Характерно, что записи колебаний глинистых грунтов, записанные на глубине 140-150 см от поверхности основной площадки земляного полотна в пределах ширины рельсошпальной решетки, не регистрируют резких всплесков амплитуд смещения и не позволяют выявить момента прохода осей подвижного состава над датчиками. Записи оказываются в значительной степени сглаженными, размытыми [5]. Это свидетельствует, что земляное полотно, отсыпанное барханными песками, обладает демпфирующими свойствами. Однако при регистрации колебаний на расстоянии 3,5 м от оси пути в перпендикулярном направлении на записях колебаний больше не фиксировались четкие всплески амплитуд смещений, по которым можно было бы выявить момент прохода осей подвижного состава над датчиками. Это свидетельствует о том, что в балластном слое и верхней части земляного полотна смещения возникают под воздействием силового фактора, в частности пульсации напряжений по подошвам шпал, а затем распростра-

ются в теле земляного полотна и балластном слое в виде отдельных волн. Следовательно, влияние на грунты колебаний от большого контактного воздействия силового фактора будет существенно отличаться от воздействия в виде обычных колебаний, проявляющихся при обычных волновых процессах.

Вторая гармоника – высокочастотная, проявляется в виде наложенных колебаний на несущую гармонику. Следует отметить, что при регистрации больших амплитуд несущих гармоник, высокочастотная составляющая не всегда визуально обнаруживается и замеряется по записям колебаний, так как на многих участках записи она частично или полностью замаскирована. Высокочастотная составляющая вертикальных колебаний возникает от колебания неподрессоренных масс ходовых частей подвижного состава и характеризуется амплитудами в основном 3-7 мкм, хотя в отдельных случаях встречаются колебания в 20-25 мкм с частотами 40-70 Гц [5], что подтверждается результатами наших экспериментов. Для этой составляющей свойственно интенсивное затухание по глубине полотна и с удалением от оси пути.

Горизонтальная составляющая колебаний в направлении, перпендикулярном оси пути (рис. 3 кривая 3) характеризуется двумя гармониками: несущей и наложенной, причем по величине они отличаются больше чем на порядок и обладают определенной стабильностью. По характеру колебаний на основной площадке земляного полотна эта составляющая колебаний сильно соответствует вертикальной составляющей колебаний, что подтверждается записями на рис. 3. Результаты натурных исследований колебательного процесса земляного полотна, сложенного глинистыми грунтами, проведенные И.В. Прокудиным, показывают, что горизонтальная составляющая колебаний в направлении, перпендикулярном оси пути, сильно зависит от люфта ширины колеи и размера между ребордами колесной пары. Например, осциллограммы, записанные И.В. Прокудиным на пути с шириной колеи 1520 мм при движении пассажирских поездов со скоростью 218 км/ч, свидетельствуют о регистрации колебаний с амплитудой значительной меньшей, чем у вертикальной составляющей, но превышающей амплитуды колебаний горизонтальной составляющей вдоль пути. А вот несколько иной характер имеет горизонтальная составляющая колебаний глинистых грунтов при проходе поездов по пути с шириной колеи порядка 1528-1530 мм. Основное отличие появляется в том, что наложенные колебания с увеличением скорости пассажирских поездов свыше 70 км/ч начинают проявляться в виде отдельных резких всплесков и пик, отличающихся по амплитуде от соседних колебаний в 7-10 раз. Амплитуда колебаний в местах отдельных всплесков, возникающих от действия движущихся пассажирских поездов со скоростью 140-160 км/ч, возрастает настолько, что достигает величины амплитуды вертикальных колебаний, а в отдельных случаях превосходит ее [5].

По результатам наших экспериментов, записи колебаний на основной площадке земляного полотна, отсыпанного барханными песками, при ширине колеи 1522 мм, при проходе пассажирских поездов по участку измерений свидетельствуют о регистрации колебаний с амплитудой несколько меньшей, чем у вертикальной составляющей, но в несколько раз превышающей амплитуды колебаний горизонтальной составляющей вдоль пути.

С увеличением скорости движения поездов горизонтальная составляющая колебаний в перпендикулярном направлении существенно возрастает, причем на некотором удалении от оси пути вертикальная и горизонтальная составляющие колебаний начинают выравниваться по величине за счет меньшей интенсивности затухания горизонтальных колебаний.

Сравнение характера колебаний грунтов в различных направлениях дает возможность получить качественную картину соотношения амплитуд различных составляющих. Полу-

ченные результаты свидетельствуют о том, что колебания в вертикальной плоскости проявляются с амплитудами, в 3,5 раза превышающими колебания в горизонтальной плоскости вдоль пути и почти в 2 раза превышающими колебания в горизонтальной плоскости в перпендикулярном направлении оси пути.

Литература

1. Баркан Д.Д. Экспериментальное исследование сотрясений грунта, вызываемых паровозом // Инж.сб., т. 3, вып. 1, Институт механики АН СССР, М., 1946. с. 15-88.
2. Ершов В.А. Устойчивость песчаных насыпей в связи с колебаниями, вызываемыми, железнодорожным и автомобильным транспортом. // Труды ЛИСИ, №37, Л., 1962. с. 76-94.
3. Ершов В.А., Костюков И.И. Колебания песчаных грунтов в откосных призмах железнодорожных насыпей, вызываемых поездами с тепловозной тягой. // Механика грунтов, основания и фундаменты. Краткие содержания докладов к XXV научные конференции ЛИСИ, 1967. с. 18-28.
4. Маслов Н.Н. Условия динамической устойчивости водонасыщенных песков. // Труды ЛИСИ, вып. 18, 1954 с. 5-83.
5. Прокудин И.В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку. Диссертация на соискание ученой степени докт.техн.наук., ЛИИЖТ, 1982.
6. Смолин Ю.П., Дербенцев А.С. Полевые исследования динамической устойчивости водонасыщенных песчаных насыпей от поездной нагрузки. // Доклады зональной научно-технической конференции. Владивосток, 1983.
7. Абдукамилов Ш.Ш., Прокудин И.В. Распространение колебаний в железнодорожном земляном полотне, отсыпанном барханными песками. // Проблемы механики, №3-4, Изд-во «Фан» АН РУз. 2011, с. 70-73.

Аннотация

Бархан кумларидан барпо этилган ер тўшамаси тебраниш жараёнининг табиий усулда ўтказилган тажриба натижалари келтирилган. Бархан кумлари заррачаларининг асосий майдонча, ер тўшамаси ичи ва ташқари сатҳларидаги тебраниш графиклари таҳлили берилган. Поездлар тезлиги таъсирида бархан кумларининг тебраниш амплитуда қийматлари ўзгаришини ўрганиш бўйича олинган натижалар келтирилган.

Summary

The results of field researches of the oscillatory process subgrade erected with sand dunes. The analysis of the oscillations records of particle of sand dunes at the main field, in the frame and behind of the subgrade. Given findings change of the value of oscillation amplitudes of dunes sand depending on the speed of trains.