

УДК 625.12

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ЗЕМЛЯНОМ ПОЛОТНЕ ИЗ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ

Абдукамилов Ш.Ш., к.т.н., ст. преп. (ТашиИИТ)

Поезда, движущиеся по железнодорожному пути, являются источниками возникновения вибродинамических нагрузок, вызывающих колебания земляного полотна. Колебательный процесс земляного полотна, возникающий при проходе поездов, не может быть описан какой-нибудь определенной функциональной зависимостью, так как он является стохастическим процессом. Поэтому основные параметры случайного процесса могут быть получены с достаточной точностью только при помощи теории вероятностей и математической статистики.

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.

Кроме того, полевые исследования колебаний земляного полотна имеют большое значение для осуществления правильного моделирования колебательного процесса в лабораторных условиях для изучения закономерностей снижения прочностных характеристик грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку, при максимальном приближении к действительным вибрационным и силовым нагрузкам, которые имеют место на эксплуатируемых железнодорожных линиях.

Исследования по изучению прочности железнодорожного полотна при воздействии вибродинамических нагрузок начали проводить с XIX века. Анализ многочисленных исследований [1, 2, 3, 4] показал, что колебания, возникающие при проходе поездов, значительно влияют на снижение прочностных свойств грунтов земляного полотна.

Так как значительная часть Узбекских железных дорог расположена в районах распространения барханных песков, нами было решено провести исследования по выявлению зависимости распространения колебаний в теле полотна, отсыпанного барханными песками, и за его пределами, и основных характеристик колебательного процесса. Барханные пески по своей природе сильно отличаются от других видов песчаных грунтов [5]. Из таблицы 1 видно, что прочностные характеристики барханных песков меньше по сравнению с другими видами песков.

Таблица 1

Сравнение прочностных характеристик песчаных грунтов

Песчаные грунты	Гравелистые и крупные пески	Средней крупности	Мелкие	Пылеватые	Барханные пески
Удельное сцепление, т/м ²	0,2	0,3	0,6	0,8	0,4
Угол внутреннего трения, град.	43	40	38	36	31

Кроме того, отличительная особенность барханных песков – незначительное содержание пылеватых и глинистых частиц, крупностью менее 0,05 мм. Из таблицы 2 видно, что в барханных песках значительно преобладают частицы мелкого песка (0,25-0,10 мм).

Таблица 2

Гранулометрический состав барханных песков

Фракция, мм	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	<0,05
Содержание, %	0,5	1,7	76,2	18,1	3,5

Физические свойства барханных песков, зависящие от их гранулометрического и минералогического состава, - связанность и структурность, плотность, пористость – имеют одинаковые характеристики для всех пустынь. Связность барханных песков очень слабая. В сухом состоянии они рыхлы, сыпучи и совершенно бесструктурны. В связи с этим, барханные пески следует отнести к слабым грунтам. Следовательно, актуальность исследований по обеспечению несущей способности барханных песков, слагающих железнодорожное земляное полотно, возрастет.

Полевые испытания производились в летнее время года на 3904 км участка Учкудук – Мискен железных дорог Узбекистана, где земляное полотно сооружено полностью из барханных песков.

Верхнее строение пути представляет из себя звеньевой путь с рельсами Р65 на железобетонных шпалах эпюрой 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. Амплитудно-частотные характеристики колебаний барханных песков регистрировались сейсмоприемниками СМ-3, схема размещения которых представлена на рис.1.

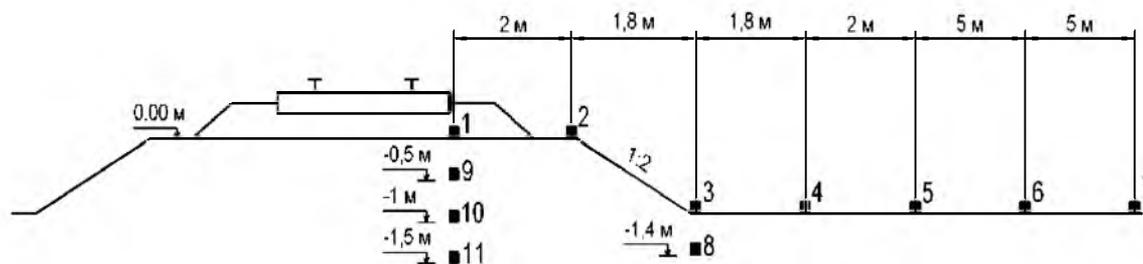


Рис. 1. Схема расположения датчиков в теле земляного полотна и за его пределами

Типичный пример записи колебаний барханных песков основной площадки земляного полотна, при проходе пассажирского поезда со скоростью 70 км/ч, представлен на рис. 2. На рисунке отображены три составляющие колебательного процесса:

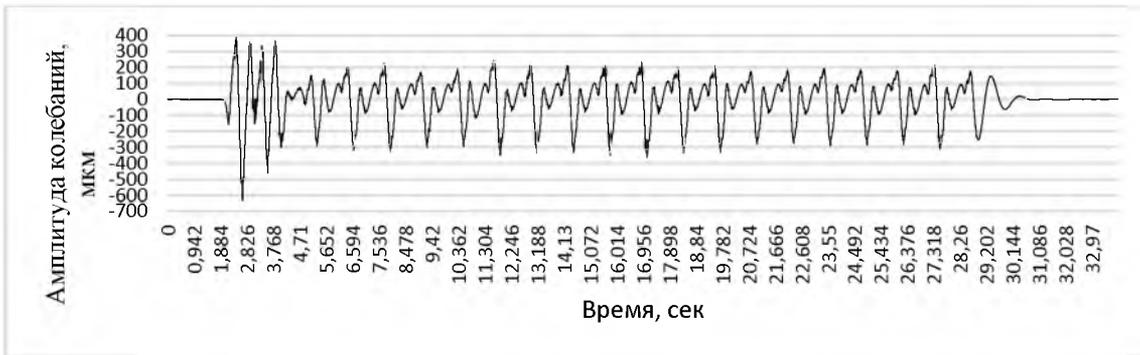
- а) амплитуда колебаний по вертикали;
- б) амплитуда колебаний по горизонтали вдоль пути;
- в) амплитуда колебаний по горизонтали поперек пути.

Как видно из рисунка, максимальные амплитуды колебаний регистрируются на вертикальной составляющей колебательного процесса с четкой регистрацией момента прохода осей подвижного состава.

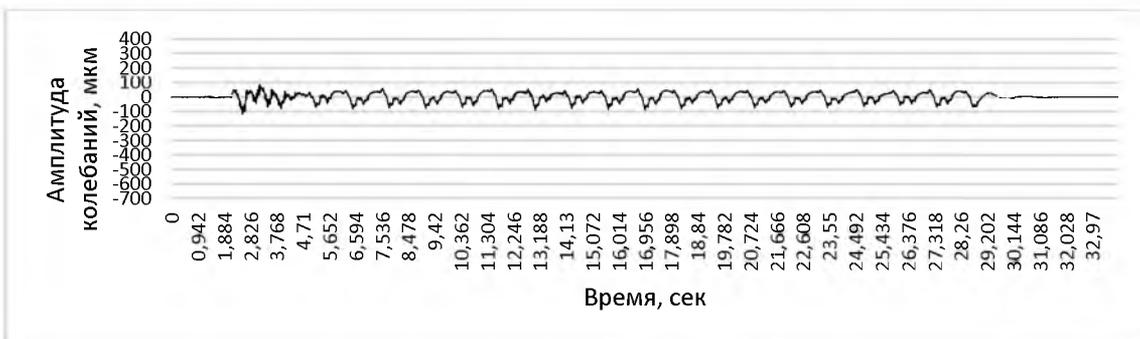
Анализ колебательного процесса барханных песков земляного полотна при движении пассажирских поездов позволяет характеризовать каждую составляющую колебаний. Все три составляющие колебаний разлагаются на две условные гармоники: несущую и наложенную. Однако, каждая составляющая имеет свой характер распространения. Так, вертикальная составляющая колебаний 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.

На рис. 2 видно, что несущая гармоника вертикальной составляющей 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.

а) вертикальная составляющая колебаний



б) горизонтальная составляющая колебаний вдоль пути



в) горизонтальная составляющая колебаний поперек пути

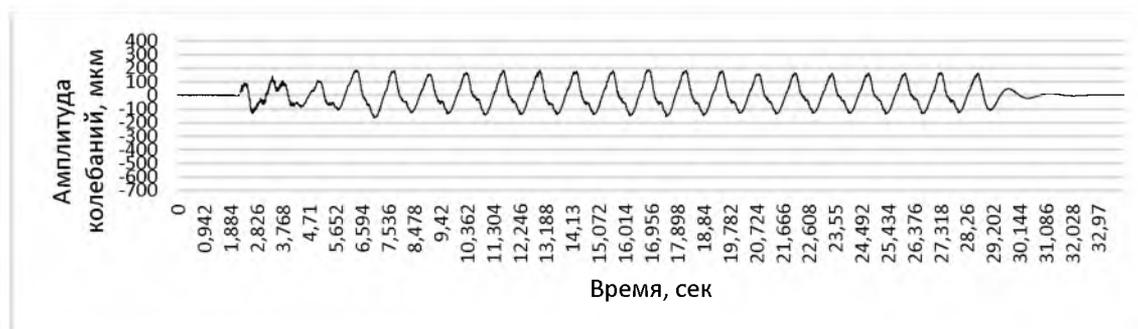


Рис. 2. Записи амплитуды колебаний барханных песков на уровне основной площадки при скорости пассажирского поезда 70 км/ч

Амплитуда колебаний этой гармонике 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. Колебания этой гармонике можно считать периодическим со значительным нарушением закономерности проявления. На всех записях колебаний можно зарегистрировать резкие пики и впадины, сглаженных участки практически отсутствуют.

Наши эксперименты проводились с углублением точки измерения до 150 см от поверхности основной площадки земляного полотна. Записи колебаний барханных песков, зафиксированные 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 осциллограммы колебаний глинистых грунтов [4], 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. Это свидетельствует о том, что земляное полотно, отсыпанное барханными песками, очень чувствительно к вибродинамическим воздействиям, возникающим от проходящих поездов. 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 распространяются 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 проявляется в виде наложенных колебаний на несущую гармонику. Частотный диапазон ее изменения исключительно широк и составляет от 40 до 200 Гц (спектральный анализ приведен на рис. 3). Колебания барханных песков с частотами порядка 200 Гц регистрируются при прохождении пассажирских вагонов. 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, как и в глинистых грунтах [4]. Для этой составляющей свойственно интенсивное затухание по глубине полотна и с удалением от оси пути.



Рис. 3. Спектральный анализ колебаний барханных песков

Анализ величин составляющих колебательного процесса барханных песков показывает, что результирующая амплитуда колебаний практически определяется величиной вертикальной составляющей амплитуды колебаний.

Результаты натуральных исследований колебательного процесса земляного полотна, сложенного глинистыми грунтами, проведенные И.В. Прокудиным [4], 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 значительно меньшей, чем у вертикальной составляющей, но превышающей амплитуды колебаний горизонтальной составляющей вдоль пути. 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 [4].

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. Полученные 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.

Важнейшей особенностью полученных результатов является резкое увеличение амплитуд колебаний земляного полотна, отсыпанного барханными песками. Например, по результатам исследований И.В. Прокудина [4], при скорости движения пассажирских поездов 90 км/ч при

ширине колеи 1520 мм результирующие амплитуды колебаний глинистых грунтов основной площадки земляного полотна составляют 125 мкм. А при земляном полотне, отсыпанным барханными песками, они составляют 440 мкм, т.е. возрастают в 3,5 раза (рис. 4). Такое увеличение динамики является следствием отличий основных характеристик барханных песков от глинистых грунтов, таких как логарифмический декремент затухания колебаний, изменение различных физико-механических свойств от влажности, разные расчетно-реологические модели поведения грунтов разного сложения при вибродинамическом воздействии.

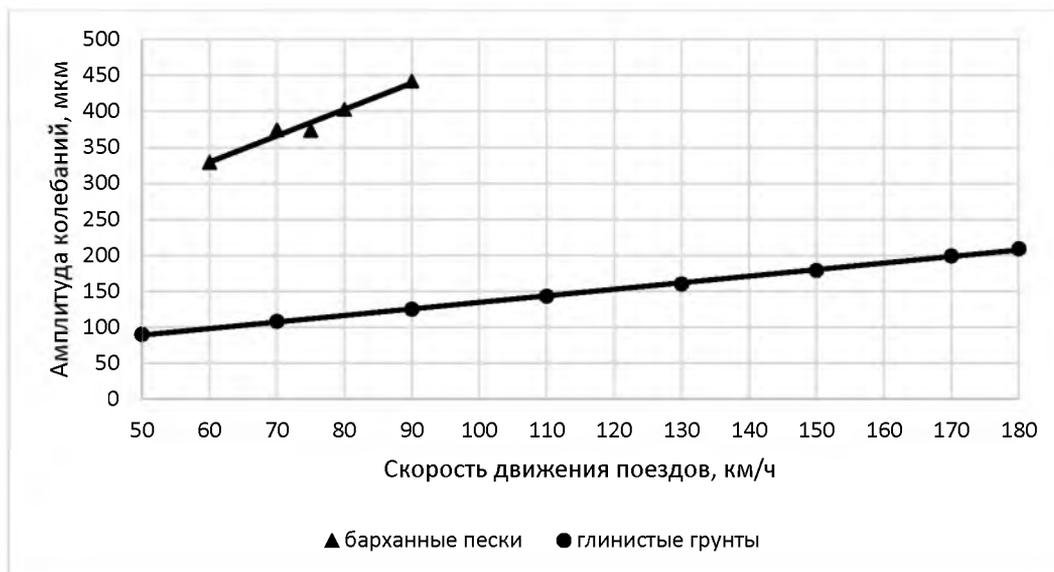


Рис. 4. Зависимость амплитуды колебаний от скорости движения пассажирских поездов

Экспериментальные исследования колебательного процесса земляного полотна, отсыпанного барханными песками, позволяют сделать следующие выводы:

1. Колебания земляного полотна, отсыпанного барханными песками, вызываются пульсацией напряжений и имеют сложный пространственный характер с тремя частотными составляющими. Проявление амплитуд и частот резко отличаются от синусоидальных колебаний.
2. Анализ записей амплитуд колебаний показал, что каждая составляющая колебаний условно разлагается на две гармоники – несущую и наложенную.
3. Анализ величин составляющих колебательного процесса барханных песков показывает, что результирующая амплитуда колебаний практически определяется величиной вертикальной составляющей амплитуды колебаний.
4. Величина амплитуды колебаний барханных песков в несколько раз больше, чем амплитуды колебаний глинистых грунтов, что предполагает значительную потерю несущей способности железнодорожного земляного полотна из таких песков.
5. По экспериментальным исследованиям впервые были выявлены амплитудно-частотные характеристики барханных песков основной площадки, которые можно использовать в расчетах прочности земляного полотна, отсыпанного барханными песками.

Литература

1. Иванов П.Л. Разжижение и уплотнение несвязных грунтов при динамических воздействиях. // Материалы III Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений. – Ташкент: Изд-во «Фан», 1973. – С. 6-7.
2. Колос А.Ф. Противодинамическая стабилизация железнодорожного земляного полотна путем цементации грунтов основной площадки. дис. канд. техн. наук: 05.22.06 – СПб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщ., 2000. – 163 с.
3. Абдукамилов Ш.Ш. Несущая способность земляного полотна из барханных песков при действии вибродинамической нагрузки // Проблемы механики, 2013, №2. – С. 57-61.
4. Прокудин И.В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку: дис. док. техн. наук : 05.22.06 – Ленинград: ЛИИЖТ, 1982. – 455 с.
5. Закиров Р.С. Железные дороги в песчаных пустынях. //Проектирование, сооружение земляного полотна и эксплуатация пути - М.: Транспорт, 1980. – 221 с.

Аннотация

Мақолада вибродинамик юкламаларни қабул қиладиган бархан қумларидан барпо этилган темир йўл ер полотносида ўтказилган натур экспериментлар натижалари кўрилган. Поездлар ҳаракатидан ер полотноси жисмида ҳосил бўлувчи амплитуда-частота тавсифлари маълумотлари тақдим этилган. Ер полотноси асосий майдончаси сатҳидаги бархан қумлари ва гил грунтлари зарраларининг тебраниш амплитудалари қийматлари солиштирилган.

Summary

The article discusses the results of field experiments railway subgrade of sand dunes, which receive vibrodynamic load. Presents data amplitude-frequency characteristics of subgrade in the body that occur when the movement of trains. The comparison of the values of the amplitudes of the oscillations of the particles of sand dunes and clay soils at the main site subgrade.