перемешиванию бродящей массы. Эта особенность позволит перемещать состав по точкам сбора отходов непрерывно. Еще одним преимуществом комплекса является возможность снабжения биогазом и биоудобрениями необходимые районы на пути следования состава.

Одной из главных задач, которые необходимо решить, – это соединение систем, обеспечивающих стабильную работу всей установки в целом. Решить проблему помогут гибкие муфты и соединители с гибкими конструкциями.

4 Локомотив

Исходя из минимального количества железнодорожных платформ в составе мобильной биогазовой установки рекомендуется использовать локомотивы грузоподъемностью более 380 т.

Заключение

1. Переработка отходов является одной из важнейших проблем современного мира.

2. Использование биогазовых установок для решения этой проблемы является перспективным и экологически чистым способом утилизации отходов.

3. Положительные эффекты:

3.1. Получение биогаза, пригодного для использования в промышленности. После очистки, обогащения до природного газа его можно подавать в общую газовую магистраль.

3.2. Получение биоудобрений высокого качества, которые можно использовать в любой отрасли сельского хозяйства.

4. Для установки метантенка на железнодорожную платформу не нужно вносить существенных изменений в его конструкцию.

5. Создание мобильной биогазовой установки на железнодорожном ходу является обоснованным и перспективным путем развития биогазовой отрасли.

Библиографический список

1. **Альтернативная энергетика** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://altenergo.radiushost.ru/biogaz.htm.

2. **Web-сайт** Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%C1%E8%EE%E3%E0%E7.

3. **Энергосберегающие** технологии и агрегаты на животноводческих фермах / И. Баротфи, П. Рафаи. – М. : Агропромиздат, 1988. – 228 с.

УДК 625.041.1

А. Ф. Колос, Д. В. Крюковский
Петербургский государственный университет путей сообщения

ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ГРУНТОВ НАСЫПЕЙ, ОПИРАЮЩИХСЯ НА ТОРФЯНОЕ ОСНОВАНИЕ, ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ

Рассматриваются закономерности распространения колебаний грунтов железнодорожного земляного полотна, опирающегося на торфяные грунты. На основе многочисленных экспериментов, проведенных авторами статьи, получены количественные данные вибродинамического воздействия, передающегося телу земляного полотна и торфяному основанию. Изучен характер колебательного процесса грунтов насыпи и основания, получены зависимости затухания колебаний по глубине и в поперечном оси пути направлении. По данным экспериментальных исследований

получена аналитическая зависимость для расчета амплитуд колебаний в любой точке земляного полотна, опирающегося на торфяное основание.

насыпь, земляное полотно, торф, основание, амплитуда, колебания, затухание колебаний, несущая способность, вибродинамика.

Введение

Как известно, насыпи железных дорог, возведенные на болотах, широко распространены как на эксплуатируемых, так и на вновь строящихся железнодорожных линиях нашей страны. Протяженность заболоченных участков пути в северных и некоторых западных районах составляет от 10 до 40% от общей протяженности. Земляное полотно, возведенное на болотах десятки лет тому назад, на сегодняшний день часто не отвечает современным условиям работы, которые с каждым годом усложняются в связи с ростом осевых нагрузок и скоростей движения. Нередко насыпи, устроенные на торфяном основании, дают в течение продолжительного времени осадки, сопровождающиеся в ряде случаев значительными деформациями, нарушающими движение поездов.

Многолетние инструментальные наблюдения в натурных условиях за работой земляного полотна и его основания свидетельствуют о тесной взаимосвязи между характером деформирования насыпей и скоростью движения поездов, величиной осевой нагрузки. Причиной тому является возникновение пульсации напряжений в теле земляного полотна при проходе поезда, в результате которых происходит смещение частиц грунта. При действии вибрации наблюдается снижение прочностных и деформативных характеристик грунтов, слагающих земляное полотно и его основание [2, 4, 5]. В результате при проходе поезда насыпь работает в «ослабленном» состоянии, т. е. при пониженных прочностных и деформативных характеристиках. Исследованием колебательного процесса грунтов земляного полотна и его основания, а также изучением влияния вибрации на прочностные и деформативные свойства грунтов занималось множество современных ученых [1, 2], однако подобных работ в отношении торфяных грунтов практически нет.

Колебания грунтов железнодорожного земляного полотна имеют стохастический характер. Основные характеристики колебательного процесса изучаются опытным путем с использованием теории вероятностей и математической статистики. Выявление закономерностей распространения колебаний в грунтах насыпей, опирающихся на торфяное основание, позволит решить задачу о несущей способности земляного полотна, опирающегося на торф, с учетом инерционных сил и снижения прочностных характеристик грунтов при действии вибродинамических нагрузок.

1 Характеристика экспериментального участка

Исследование основных характеристик колебательного процесса грунтов насыпи и ее основания, сложенного торфяными грунтами, осуществлялось на ПК 472+00 перегона Грузино – Сосново направления Санкт-Петербург – Приозерск. Высота насыпи на экспериментальном поперечнике – 3,0 м. Мощность торфяного слоя под насыпью – 2,8 м, степень разложения торфа – 45–55%.

Верхнее строение пути представлено рельсами Р65, скрепления типа КБ65, ширина колеи – 1520 мм. Балластная призма однослойная. Слой щебня под шпалой толщиной 45–55 см. Исследования выполнялись вне зоны стыка.

В качестве регистраторов колебаний грунтов земляного полотна и торфяного основания были использованы сейсмоприемники молекулярно-электронного принципа действия *MTSS*-2003. Приборы данного типа предназначены для регистрации колебаний

грунта в трех ортогональных направлениях. Их применение позволяет фиксировать амплитуды с частотой от 1 до 300 Гц.

2 Исследование распространения колебаний в теле земляного полотна и торфяном основании

Принципиальная схема регистрации колебаний грунтов земляного полотна и торфяного основания приведена на рис. 1. Установка датчиков в процессе эксперимента производилась через каждые 0,5–1,0 м, по глубине земляного полотна и торфяного основания, начиная с уровня 0,45 м под подошвой шпалы. При этом максимальная глубина, на которую были помещены сейсмоприемники, составила 6,1 м. Регистрация амплитуд колебаний осуществлялась не только в подрельсовой зоне, но и в поперечном оси пути сечении. Для этого сейсмоприемники устанавливались на откосе и в теле земляного полотна, у основания насыпи, затем в поперечном оси пути направлении через каждые 4 м.

Анализ записей колебаний грунтов насыпи и торфяного основания при проходе поезда позволяет выделить ряд особенностей колебательного процесса по сравнению с насыпями, опирающимися на твердое минеральное основание.

Наличие в основании насыпей слабых торфяных грунтов обусловливает резкое увеличение вибродинамического воздействия на грунты земляного полотна. На рис. 2 приведены зависимости амплитуд колебаний грунтов основной площадки земляного полотна от скорости движения грузовых и пассажирских поездов.

Прямые *1* и *2* соответствуют значениям результирующих амплитуд колебаний при движении грузовых (локомотив ВЛ-10) и пассажирских (пассажирский вагон) поездов для насыпей, опирающихся на торфяное основание. Прямые *3* и *4* построены по результатам экспериментов, проведенных другими авторами [3, 4], и соответствуют значениям результирующих амплитуд колебаний в уровне основной площадки земляного полотна, опирающегося на твердое основание, при проходе соответственно грузовых и пассажирских поездов.

Значения результирующих амплитуд колебаний грунтов основной площадки земляного полотна на торфяном основании в 2,2 раза (локомотив ВЛ-10) и в 1,95 раза (пассажирский вагон) больше результирующей амплитуды колебаний на основной площадке земляного полотна, опирающегося на твердое основание. При скорости 80 км/ч значение результирующей амплитуды колебаний грунтов основной площадки насыпи на торфяном основании при движении грузового поезда (локомотив ВЛ-10, линия *1*) составляет 590 мкм, при движении пассажирского поезда (пассажирский вагон, линия *2*) – 370 мкм.

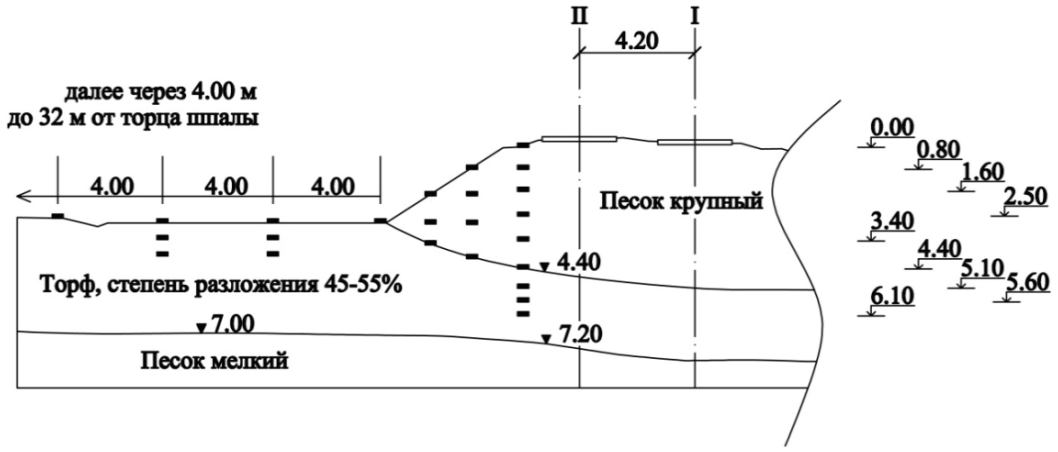

Рис. 1. Схема установки сейсмоприемников

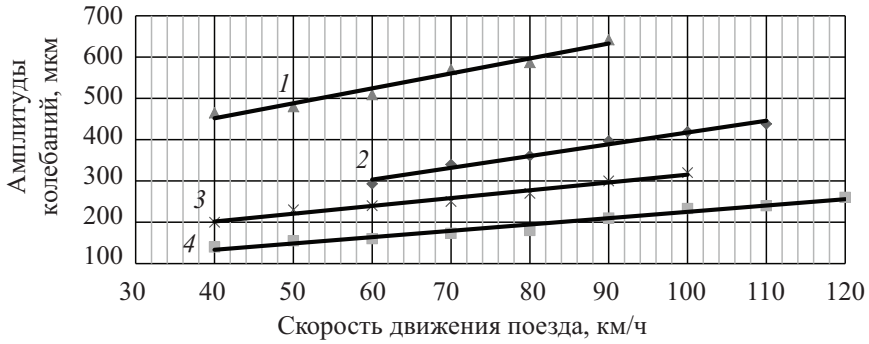

Рис. 2. Зависимость амплитуд колебаний грунтов основной площадки земляного полотна от скорости движения грузовых (локомотив ВЛ-10) и пассажирских (пассажирский вагон) поездов

При изучении колебательного процесса грунтов земляного полотна и его основания необходимо выявить характер затухания колебаний в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На рис. 3 показаны зависимости результирующих амплитуд колебаний от глубины относительно основной площадки насыпи при движении грузовых поездов (локомотив ВЛ-10) с различной скоростью.

Кривые *1*, *2*, *3* аппроксимируют данные экспериментов, проведенных под грузовыми поездами, следовавшими со скоростями 40, 60, 80 км/ч. Полученные кривые приближаются к экспонентам, а имеющиеся отклонения точек от некоторого среднего значения лежат в пределах допустимой погрешности для измерения динамических процессов. Вследствие этого по усредненным данным построена кривая *4*. Для оценки затухания колебаний введен показатель δ_z, равный отношению результирующих амплитуд колебаний, зарегистрированных на некоторой глубине *z* относительно основной площадки (A_z), к амплитудам, зарегистрированным на основной площадке земляного полотна (A_0). Для количественного и качественного сравнения на рис. 4 представлено сопоставление изменения коэффициента δ_z для насыпей, опирающихся на торфяное основание (кривая *1*) и для насыпей на твердом основании (кривая *2*).

Затухание колебаний по глубине земляного полотна, опирающегося на торф, происходит значительно слабее, чем на насыпях, опирающихся на твердое минеральное основание. Так, на глубине 1 м значения амплитуд колебаний грунтов земляного полотна, опирающегося на торф, снижаются на 22% относительно колебаний, передающихся основной площадке земляного полотна; на глубине 2 м снижение амплитуд колебаний составляет 40%, в то время как для насыпей, опирающихся на твердое минеральное основание, такое снижение амплитуд колебаний

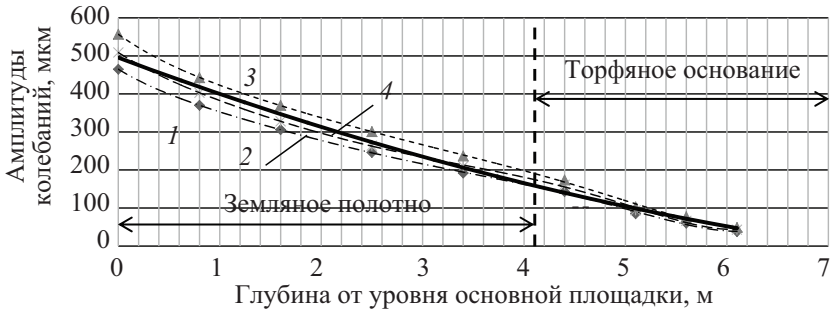

Рис. 3. Затухание амплитуд колебаний по глубине земляного полотна и торфяного основания при движении грузовых поездов (локомотив ВЛ-10)

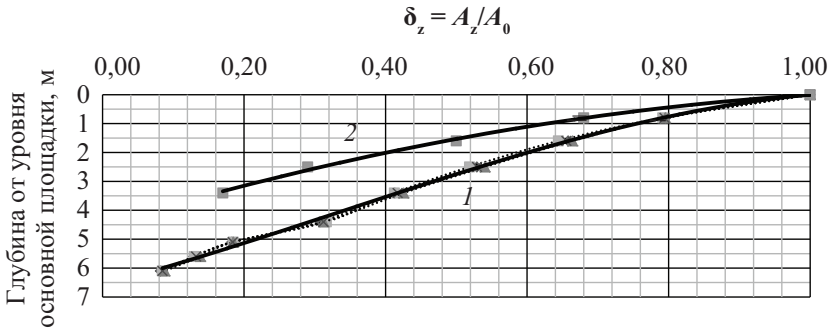

Рис. 4. Изменение коэффициента δ_z для насыпей, опирающихся на торф (*1*) и для насыпей на твердом основании (*2*)

на глубине 1 м составляет 39%, а на глубине 2 м – 60%. Таким образом, наличие слоя торфяного грунта приводит к тому, что верхние слои земляного полотна намного слабее рассеивают энергию колебаний, передавая нижележащим грунтам существенную их часть.

На глубине 4,4 м, что соответствует уровню торфа, значение результирующей амплитуды колебаний равно 150 мкм для грузовых поездов, что составляет 30% от амплитуд колебаний, передающихся основной площадке земляного полотна. Практически полное затухание колебаний происходит на глубине свыше 6,1 м, в то время как для насыпей на твердом минеральном основании вибрации практически полностью затухают уже на глубине 3,5 м.

На основе результатов экспериментов получена аналитическая зависимость для расчета амплитуд колебаний на различной глубине для насыпей, опирающихся на торфяное основание:

$$A_z = A_0 \cdot e^{-\delta_1 \cdot Z}, \qquad (1)$$

где δ_1 – коэффициент затухания колебаний по глубине, по результатам экспериментов равный 0,17 1/м.

По данным экспериментальных замеров определены амплитуды колебаний по поверхности откоса насыпи и по основанию земляного полотна (рис. 5). Кривые *1*, *2*, *3* соответствуют проходам грузовых поездов (локомотив ВЛ-10) со скоростями 40, 60, 80 км/ч, кривая *4* построена по усредненным данным.

Характер полученной зависимости соответствует ярко выраженной экспоненте с наличием двух зон интенсивности затухания амплитуд. Первая зона находится в диапазоне изменения расстояния от 0 до 18 м и соответствует интенсивному затуханию колебаний. Во второй зоне наблюдается очень слабое затухание амплитуд по зависимости, близкой к прямолинейной.

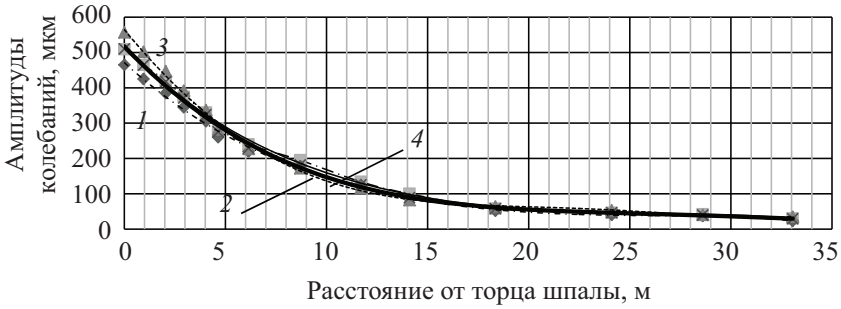

Рис. 5. Затухание амплитуд колебаний поперек оси пути при движении грузовых поездов (локомотив ВЛ-10)

Для оценки затухания колебаний поперек пути введен показатель δ_y, равный отношению результирующих амплитуд колебаний, зарегистрированных на некотором расстоянии от торца шпалы (A_y), к амплитудам, зарегистрированным на основной площадке земляного полотна (A_0). На рис. 6 показано изменение показателя δ_y для насыпей, опирающихся на торф (линия *1*), и для насыпей на минеральном основании (линия *2*). Затухание колебаний в поперечном оси пути направлении для насыпей, опирающихся на торф, происходит значительно слабее, в результате чего размер первой зоны для насыпей на торфяном основании в 1,6 раза больше по сравнению с аналочными насыпями, опирающимися на минеральный грунт.

На основе результатов экспериментов получена зависимость, позволяющая установить значения коэффициентов затухания колебаний в каждой зоне: $\delta_2^1 = 0{,}05$ 1/м и $\delta_2^2 = 0{,}02$ 1/м. При этом аналитическая зависимость для определения амплитуд колебаний на различном расстоянии от источника имеет следующий вид:

$$A_y = A_0 \cdot e^{-\delta_2^1 \cdot f(y) - \delta_2^2 \cdot (y-1{,}35) + \delta_3 \cdot h_i}; \qquad (2)$$

$$f(y) = \begin{cases} 0 \text{ при } y \le 1{,}35; \\ (y-1{,}35) \text{ при } 1{,}35 \le y \le 18{,}00; \\ 16{,}65 \text{ при } y > 18{,}00; \end{cases}$$

$$h_i = \begin{cases} 0 \text{ при } y \le 0{,}5 \cdot b_{\text{пл}}; \\ (y - 0{,}5 \cdot b_{\text{пл}}) \cdot tg\alpha \text{ при } y > 0{,}5 \cdot b_{\text{пл}}, \end{cases}$$

где A_0 – результирующая амплитуда колебаний на основной площадке земляного полотна в сечении у торца шпалы, км; δ_2^1, δ_2^2 – коэффициенты загасания колебаний в первой и второй зоне 1/м; δ_3 – коэффициент загасания колебаний в откосной части насыпи, равный 0,08 1/м; h – высота откоса насыпи над рассматриваемой точкой, м; α – угол наклона откоса к горизонту; $b_{\text{пл}}$ – ширина основной площадки, м.

Распространение колебаний в теле земляного полотна и его торфяном основании происходит одновременно в вертикальном и горизонтальном направлениях, поэтому выражение для расчета амплитуд колебаний принимает следующий вид:

$$A_{zy} = A_0 \cdot e^{(-z \cdot \delta_1 - \delta_2^1 \cdot f(y) - \delta_2^2 \cdot (y-1{,}35) + \delta_3 \cdot h_i)}. \qquad (3)$$

Сопоставление результатов расчета амплитуд колебаний по формуле (3) с усредненными значениями, полученными экспериментально при различных скоростях движения поездов, показывает хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных. Наибольшая погрешность составляет 7 % и имеет место на глубине 1,8 м от уровня основной площадки. Таким образом, аппроксимацию экспериментальных данных зависимостью (3) следует признать уместной.

Заключение

На основе опытов выявлены основные закономерности распространения колеба-

Рис. 6. Изменение коэффициента δ_y для насыпей, опирающихся на торф (*1*) и для насыпей на твердом основании (*2*)

ний в грунтах земляного полотна и торфяного основания. Наличие в основании насыпей слоя торфяного грунта обусловливает резкое увеличение вибродинамического воздействия на грунты земляного полотна. Затухание колебаний по глубине насыпи, опирающейся на торф, происходит менее интенсивно, чем на насыпях, опирающихся на минеральный грунт. Верхние слои земляного полотна слабее рассеивают энергию колебаний, передавая на нижележащие существенную их часть, что приводит к проникновению колебаний в слабое торфяное основание.

Исследование колебательного процесса в земляном полотне и торфяном основании позволило получить аналитическую зависимость для расчета амплитуд колебаний в любой точке земляного полотна и его торфяного основания.

Библиографический список

1. **Методика** определения коэффициента стабильности основания земляного полотна с учетом вибродинамической нагрузки / А. Ф. Колос, А. А. Сидоренко, В. С. Рыжов // Сборник научных трудов Sworld по материалам Международной научно-практической конференции. Т. 2. – 2011. – № 4. – С. 52–59.

2. **Исследование** прочностных характеристик лессовых грунтов в условиях трехосного напряженного состояния при воздействии виродинамических нагрузок / А. Ф. Колос, М. А. Абдукаримов // Известия ПГУПС. – 2011. – Вып. 3. – С. 176–182.

3. **Влияние** промежуточных скреплений на колебания грунтов земляного полотна / И. В. Прокудин, И. С. Козлов // Путь и путевое хозяйство : научно-популярный, производственно-технический журнал. – 2009. – № 6. – С. 31–33.

4. **Колебательный** процесс грунтов железнодорожного земляного полотна, возведенного из лёссовых суглинков, при скоростном движении поездов в условиях Республики Узбекистан / А. Ф. Колос, З. Э. Мирсалихов // Известия ПГУПС. – 2011. – Вып. 4. – С. 105–113.

5. **Чувствительность** щебеночного балласта к вибродинамическому воздействию / И. С. Козлов, Д. С. Николайтис // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. Т. 2. – 2011. – № 4. – С. 23–24.

УДК 62-144.3+629.02

А. Н. Лялинов
Петербургский государственный университет путей сообщения

А. Л. Пенкин, А. А. Капустин
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСАДКА–ГОМОГЕНИЗАТОРА НА ГАЗОВУЮ ФОРСУНКУ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Обобщены результаты теоретического исследования движения газовых струй внутри насадка-гомогенизатора на газовую форсунку двигателя внутреннего сгорания. Приведены величины градиента, дивергенции и ротора потока газовых струй в камере сгорания двигателя. Разработана программа, позволяющая дать характеристику вихревой составляющей потока газовых струй в любой точке камеры сгорания двигателя при установке насадка-гомогенизатора на газовую форсунку.

газовый двигатель, газовая форсунка, газовоздушная смесь, насадок-гомогенизатор, векторный анализ.