

УДК 625.12

Ю. С. МеркурьевПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПИ ПО МЕТОДУ
Г. М. ШАХУНЯНЦА С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Рассмотрен особый случай проектирования земляного полотна в сложных инженерно-геологических условиях – на территориях с повышенной сейсмической активностью. Целью данной работы является анализ сейсмостойкости конструкций земляного полотна разной высоты. Согласно нормативным документам (СП 14.13330.2011), для снижения негативного влияния сейсмического воздействия на конструкцию транспортного сооружения откосы земляного полотна из нескальных грунтов следует принимать более пологими, чем откосы, проектируемые в несейсмических районах. В представленной работе проанализирована зависимость коэффициента запаса устойчивости от различных факторов. Предложены перспективные варианты конструкций земляного полотна, способствующие снижению негативного воздействия землетрясений на элементы пути.

земляное полотно, сейсмика, сейсмоустойчивость, демпфирующий слой, численный эксперимент, математическое планирование.

Введение

Анализ норм проектирования [1] показывает, что в определенных условиях установленные действующими нормативными документами параметры откосов насыпи завышены и нерациональны. Учитывая значительную стоимость земли и грунтовых материалов, необходимо разработать более рациональные конструкции, использование которых сокращает занимаемые дорогой площади и обеспечивает требуемую устойчивость конструкции.

1 Анализ существующих норм проектирования

Анализ устойчивости насыпи железнодорожного пути производился путем расчета коэффициента запаса устойчивости при действии динамической нагрузки методом Г. М. Шахунянца. В расчет принимались конструкции высотой от 3 до 21 м, построенные строго в соответствии с нормативными документами.

В качестве грунта выбран наиболее распространенный материал для отсыпки насыпи – песок средней крупности, маловлажный, со следующими характеристиками:

объемный вес грунта насыпи $\gamma_{\text{ск}}^{\text{н}} = 1,6 \text{ т/м}^3$;
весовая влажность грунта в теле насыпи $W_{\text{н}} = 5\%$;
сцепление грунта насыпи $C_{\text{ст}}^{\text{н}} = 1,5 \text{ т/м}^2$;
угол внутреннего трения грунта насыпи $\varphi_{\text{ст}}^{\text{н}} = 25 \text{ град}$;
коэффициент трения грунта насыпи $f^{\text{н}} = 0,5$.

Расчеты выполнены в табличном редакторе Microsoft Excel.

Насыпь является объектом индивидуального проектирования, следовательно, очертание ее поперечного профиля должно быть обосновано расчетом на устойчивость. Насыпь была запроектирована в соответствии с действующими нормативными документами [2].

Ширина основной площадки земляного полотна для однопутного участка железной дороги II категории составляет 7,6 м. При высоте насыпи до 6 м планируется откос с уклоном

1:1,5; при 6–12 м верхние 6 м высоты насыпи выполняются с откосами уклоном 1:1,5, нижняя часть – с откосами уклоном 1:1,75. При высоте насыпи 12–21 м на расстоянии 12 и 18 м от основной площадки устраивают бермы по обеим сторонам насыпи шириной 3 м. Поверхность откосов ниже 12 м от основной площадки планируются с уклоном 1:2 (рис. 1).

При проектировании в соответствии с действующими нормами для данного вида грунта при высоте насыпи 21 м ширина подошвы земляного полотна составляет 94,5 м.

2 Необходимость учета сейсмического воздействия

Расчет устойчивости откосов земляного полотна, проектируемого в сейсмических районах, необходимо проводить с учетом сейсмического воздействия [1], т. е. при расчете по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения сдвигающая сила T умножается на сейсмический коэффициент K_c :

$$K_c = 1 + \frac{\alpha_{\max}}{g}, \quad (1)$$

где α_{\max} – расчетная величина сейсмического ускорения (определяется по табл. 1 в зависимости от сейсмичности в баллах), $\text{мм}/\text{с}^2$.

Величина сейсмического коэффициента K_c может быть определена по табл. 2 в зависимости от сейсмичности в баллах.

ТАБЛИЦА 1. Расчетные значения сейсмического ускорения и сейсмического угла

Расчетная сейсмичность, балл	Расчетное ускорение α_{\max} , $\text{мм}/\text{с}^2$
7	101–250
8	251–500
9	501–1000
10	1001–2500
11	2501–5000
12	> 5000

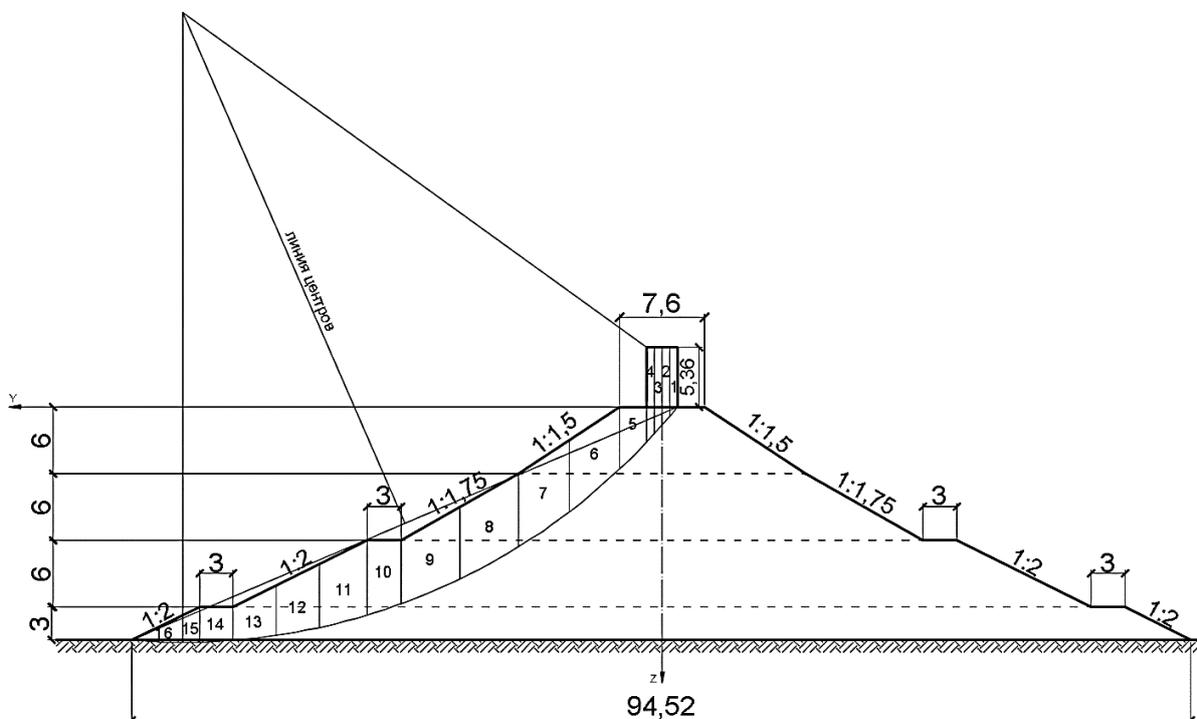


Рис. 1. Насыпь высотой 21 м

ТАБЛИЦА 2. Величина сейсмического коэффициента

Расчетная сейсмичность в баллах $j_{\text{расч}}$	7	8	9
Величина коэффициента K_c	1,03	1,05	1,10

Расчетная сейсмичность определяется по формуле

$$j_{\text{расч}} = j_0 + m, \quad (2)$$

где j_0 – расчетная сейсмичность для данного района; m – сейсмическая характеристика, учитывающая увеличение сейсмичности в баллах в зависимости от грунта основания (табл. 3).

Таким образом, расчетная формула, разработанная Г. М. Шахунянцем [3], с учетом сейсмического воздействия имеет вид

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \cdot f_{i\text{дин}} + C_{i\text{дин}} \cdot l_i + T_{i\text{уд дин}})}{\sum_{i=1}^n T_{i\text{сдв}} \cdot K_c}. \quad (3)$$

ТАБЛИЦА 3. Сейсмическая характеристика грунтов

Основание	Сейсмическая характеристика m , балл
Аллювиальные отложения, щебенистые или песчаные (сухие) грунты	1–2
Глинистые, мергелистые и лёссовидные грунты	1–3
Болотистые и водонасыщенные грунты	3–4

3 Результаты определения коэффициента устойчивости насыпи

Результаты расчетов представлены в табл. 4 и отображены на графике (рис. 2).

Анализ графика и данных таблицы позволяет сделать вывод о некотором завышении коэффициента устойчивости насыпи, кото-

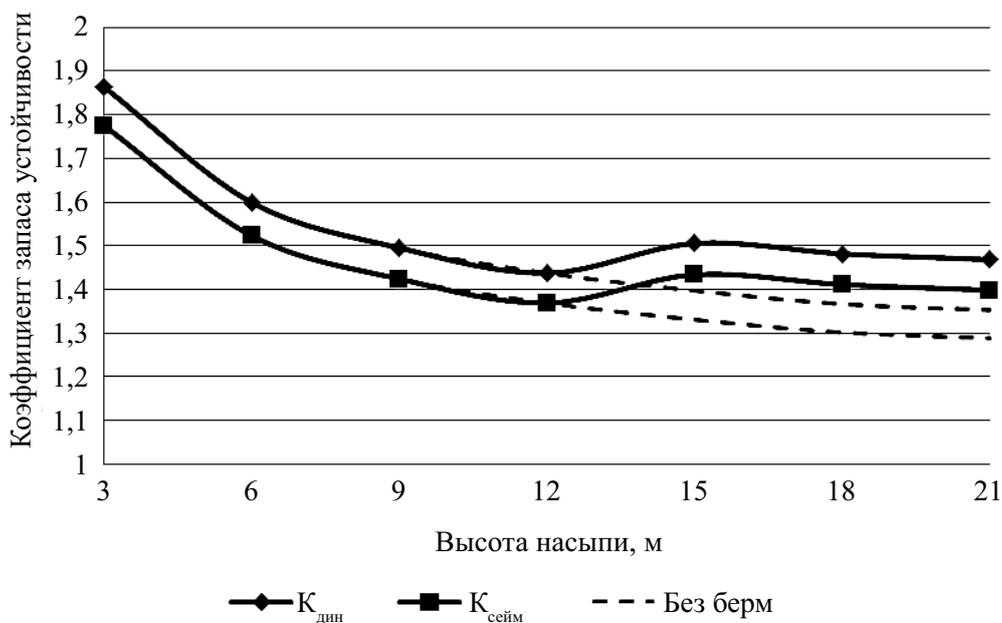


Рис. 2. График зависимости коэффициента запаса устойчивости от высоты насыпи

ТАБЛИЦА 4. Результаты расчета коэффициента устойчивости насыпи

$h_{\text{нас}},$ М	Без берм		С устройством берм	
	$K_{\text{дин}}$	$K_{\text{сейсм}}$	$K_{\text{дин}}$	$K_{\text{сейсм}}$
3	1,8644	1,7758	1,8644	1,7758
6	1,5994	1,5232	1,5994	1,5232
9	1,4954	1,4242	1,4954	1,4242
12	1,4374	1,3689	1,4374	1,3689
15	1,3972	1,3306	1,5054	1,4337
18	1,3663	1,3013	1,4817	1,4111
21	1,3527	1,2883	1,4683	1,3983

рый превышает требуемые нормами значения $K_{\text{дин}} = 1,2$.

Для сравнения в график были включены коэффициенты запаса устойчивости насыпей без устройства берм на откосах.

4 Конструктивные решения высоких насыпей

В. А. Алпысова предложила новые конструкции, позволяющие уменьшить объем используемых грунтовых материалов и площадь отводимых под устройство дороги земель. В качестве примера рассмотрена конструкция насыпи, предусматривающая устройство габионных подпорных стенок и укрепление откосов насыпи геоматериалами (рис. 3). В данной работе рассчитан коэффициент запаса устойчивости предложенной конструкции по двум вариантам поверхности разрушения габионной стенки: по верху (рис. 3) и по низу (рис. 4).

Рассчитаны следующие коэффициенты устойчивости: при прохождении поверхности разрушения через верх габионной стенки при высоте насыпи 21 м значение коэффициента составляет 3,79 без учета сейсмического воз-

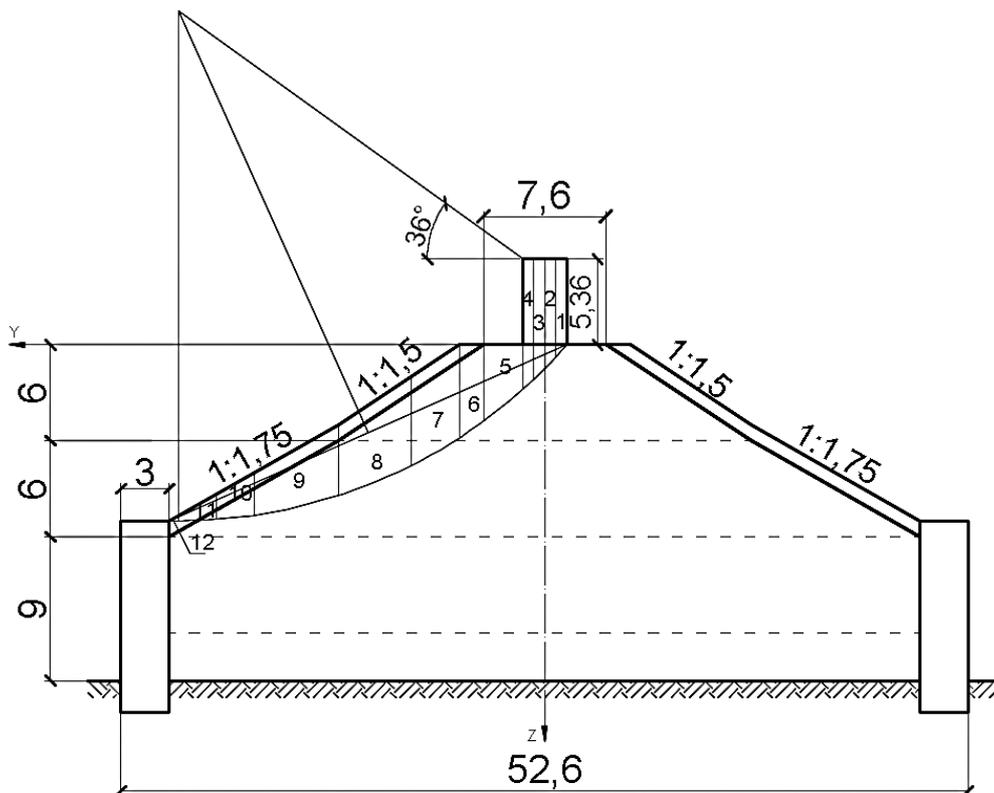


Рис. 3. Конструкция насыпи, усиленная габионными подпорными стенками, расчетная схема поверхности разрушения по верху стенки

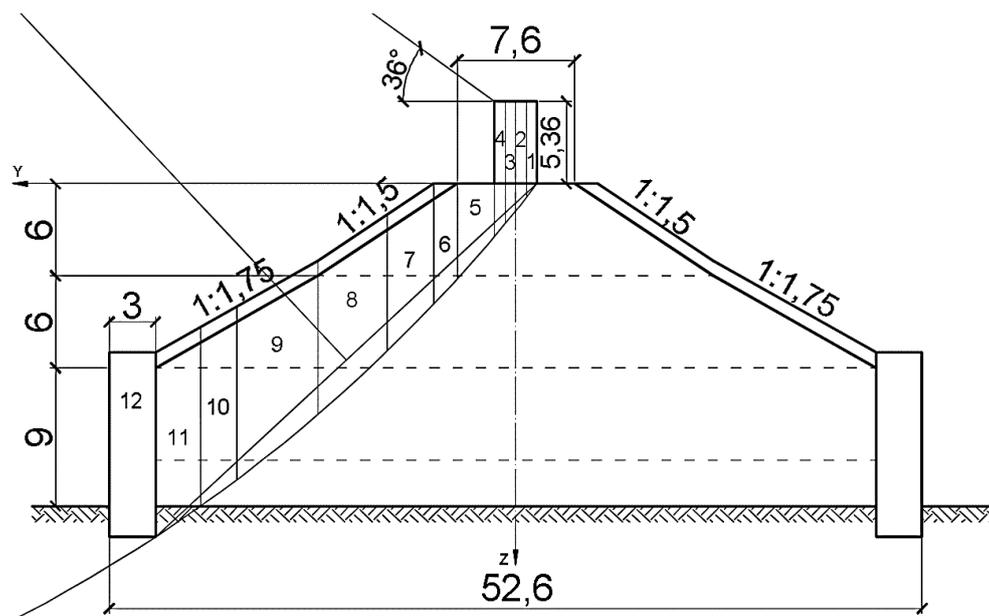


Рис. 4. Конструкция насыпи, усиленная габионными подпорными стенками, расчетная схема поверхности разрушения по низу стенки

действия и 3,55 – с учетом; через низ – 1,40 и 1,33, соответственно.

Поскольку коэффициент устойчивости, полученный при расчете данной конструкции, оказался явно завышен, разработанная конструкция требует дальнейших расчетов для снижения коэффициента до более приемлемых значений. В их числе – расчет подпорной стенки на опрокидывание, расчет устойчивости с менее громоздкой подпорной стенкой (меньшей по размерам, соответственно, меньшей по массе).

Расчет значений, отражающих сокращение площадей и объемов материала при высоте насыпи 21 м, указаны в табл. 5.

Требуется сократить объем грунтового материала на 23 %, ширину полосы земли для возведения земляного полотна – на 36 м.

Заключение

При проектировании насыпи по существующим стандартам и при использовании определенных видов грунтов возможно значительное завышение коэффициента устойчивости и связанное с этим увеличение объемов

ТАБЛИЦА 5. Сравнительные значения площадей, занимаемых конструкцией земляного полотна и требуемых для его возведения объемов грунтовых материалов

Показатель	СТН Ц-01-95	Предложенная конструкция
Площадь поперечного сечения, м ²	951,67	735,60
Ширина по подошве земляного полотна, м	88,62	52,6

грунтовых материалов, стоимости конструкций и нерациональное использование занятых дорогой земель.

При создании новых нормативных документов по сооружению земляного полотна железных дорог необходимо разработать более дифференцированный подход к назначению геометрических параметров насыпи как по виду используемых грунтов, так и по типу воздействующих факторов (виду грунта, физико-механическим характеристикам, сейсмическому воздействию и т. д.).

Оптимальная конструкция насыпи должна определяться специальными расчетами, в

которых учитываются как статические, так и динамические нагрузки, материал грунтовой насыпи и природные геологические и гидро-геологические условия.

Значительная стоимость отводимой земли обуславливает необходимость разработать оптимальные конструкции высоких насыпей, которые занимают меньшую площадь и обеспечивают требуемую устойчивость конструкции.

С уменьшением высоты насыпи увеличивается значение коэффициента устойчивости, превышающее нормативные требования. Наиболее оптимальная конструкция насыпи имеет равную устойчивость на всю проектируемую длину. В этом случае рационально сохранять

ширину подошвы насыпи, постепенно вводя в конструкцию насыпи габионные подпорные стенки разной высоты.

Библиографический список

1. СП 14.13330.2011. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Минрегион России. – М. : ОАО «ЦПП», 2011. – 113 с.
2. СП 32.104-98. Свод правил. Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. – М. : Госстрой РФ, 1999. – 22 с.
3. Железнодорожный путь : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Г. М. Шахуняц. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.

УДК 691.32

Т. М. Петрова, А. П. Лейкин, А. В. Полетаев, Ю. А. Сорвачева, К. В. Гуляев, Э. Ю. Чистяков

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ

Приведен сравнительный анализ новой редакции ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» с предшествующей версией стандарта 1987 г. Показаны основные достоинства и недостатки действующего нормативного документа, выявлен ряд приборов неразрушающего контроля, не удовлетворяющих требованиям по базе прозвучивания. Представлены результаты исследования кинетики трещинообразования опытного участка безбалластной конструкции верхнего строения пути на территории Российской Федерации с использованием ультразвукового метода контроля.

неразрушающие методы контроля, ультразвуковой метод, прочность, бетон, железобетон, безбалластная конструкция, верхнее строение пути.

Введение

В настоящее время значительно вырос уровень производства приборов неразрушающего

контроля, что объясняется широкой областью их применения: контроль прочности бетона и качества бетонирования, дефектоскопия, оценка глубины трещинообразования и т. д. [1].