



Комплексная оценка работоспособности насыпей



Валентин ВИНОГРАДОВ
Valentine V. VINOGRADOV

Василий НАУМОВ
Vassily V. NAUMOV



Методика оценки работоспособности земляного полотна железных дорог. Приводятся результаты оценки замеров его реального состояния на участке обращения поездов с повышенными осевыми нагрузками по предлагаемой методике. Предложены варианты технических решений по усилению насыпей.

Ключевые слова: железная дорога, земляное полотно, работоспособность насыпей, комплексная оценка, методика, несущая способность основной площадки, устойчивость откосов насыпей.

Виноградов Валентин Васильевич — доктор технических наук, профессор, первый проректор — проректор по учебной работе Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Наумов Василий Викторович — ведущий инженер сметно-проектного отдела ООО «Инжиниринговый центр «Ямал».

Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года предполагает на ряде участков железных дорог увеличение массы поездов за счет повышения (до 30 т/ось) осевых нагрузок вагонов.

Одним из таких мест, где планируется развитие тяжеловесного движения, является участок Большого Московского окружного кольца в направлении станций Вековка — Бекасово — Смоленск.

Опыт эксплуатации поездов с повышенными осевыми нагрузками был в 80-х годах XX столетия. Тогда на некоторых участках железных дорог наблюдалось увеличение дополнительных деформаций земляного полотна именно из-за роста осевых нагрузок вагонов [1]. В 1980—1991 годах, при вводе в эксплуатацию поездов с осевыми нагрузками вагонов 25,75 т/ось число участков с осадками земляного полотна увеличилось на 50%, со сплывами откосов насыпей — на 12%.

Анализ литературы в области оценки состояния земляного полотна железных дорог показывает, что существуют отдельные методики по оценке несущей способности основной площадки или устойчиво-

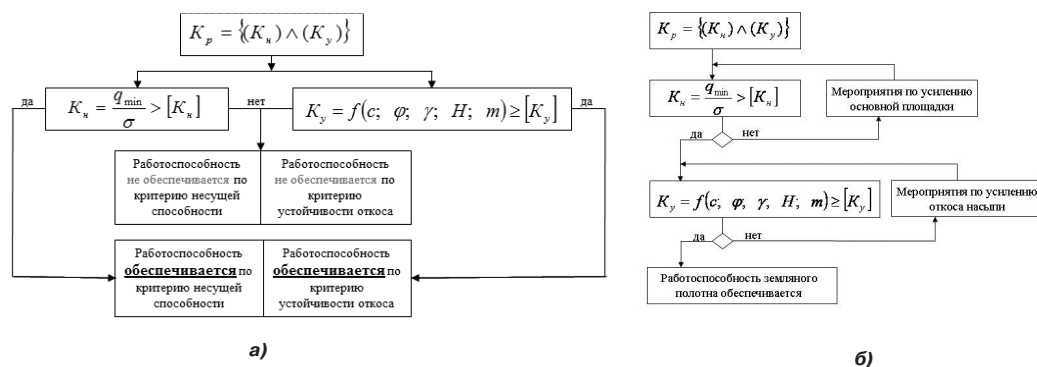


Рис. 1. Блок-схема: а) оценка работоспособности насыпи; б) обеспечение ее работоспособности.

сти откосов насыпей, и в то же время недостаточно изучены особенности оценки их состояния на участках эксплуатации поездов с повышенными осевыми нагрузками. Как правило, при таких нагрузках появляются деформации насыпей на уровне основной площадки и откосных частей.

Для таких участков предложена **методика комплексной оценки работоспособности земляного полотна (насыпей)**.

Интегрально оценка работоспособности насыпи на участках обращения поездов с повышенными осевыми нагрузками может быть представлена в виде:

$$K_p = \{ (K_n) \wedge (K_y) \}, \quad (1)$$

$$\text{где } K_n = \frac{q_{\min}}{\sigma} > [K_n];$$

$$K_y = f(c; \phi; \gamma, H, m) \geq [K_y];$$

K_p — коэффициент работоспособности земляного полотна;

K_n и K_y — расчетные коэффициенты несущей способности и коэффициента устойчивости земляного полотна;

$[K_n]$ и $[K_y]$ — допускаемые величины коэффициента несущей способности и коэффициента устойчивости земляного полотна;

$q_{\min}$ — допускаемые напряжения (несущая способность), кПа;

σ — суммарные напряжения от действия постоянных и временных нагрузок, кПа.

Алгоритм реализации комплексной методики представлен на рис. 1.

Работоспособность насыпи будет обеспечена при выполнении всех условий.

Для апробации разработанной методи-

ки был выбран участок Большой Московской окружной железной дороги (БМО) в направлении станций Вековка — Бекасово — Смоленск.

Эксплуатационные показатели характеризуют участок как особо грузонапряженный. На нем обращаются поезда с осевыми нагрузками вагонов до 27 т/ось, при этом доля вагонов с нагрузкой более 23 т/ось составляет 16%. Участок подвержен различным видам деформаций земляного полотна. Доля деформаций, связанных с верхней частью (основная площадка), достигает 75%, остальные виды деформаций относятся к откосным частям и составляют 25%.

Характеристики насыпей получены из имеющихся у Московской железной дороги баз данных.

Оценка работоспособности насыпей по предлагаемой методике позволила установить, что при эксплуатации на этом участке вагонов с осевыми нагрузками более 26 т/ось произойдет интенсивный рост деформаций насыпей, связанных как с потерей несущей способности, так и потерей устойчивости откосов (таблица 1 и рис. 2).

В связи с этим при обращении поездов с осевыми нагрузками 26 т/ось и более следует предусмотреть на участке мероприятия по обеспечению несущей способности основной площадки насыпи и устойчивости откосов.

Учитывая, что на данном участке располагаются насыпи с различными её геометрическими параметрами (высота насыпи, крутизна заложения откоса и т. п.), а также характеристиками грунтов (вид, состояние и т. п.), был определен попереч-



Таблица 1

Анализ работоспособности насыпей, подверженных деформациям

Показатель	Доля неработоспособного состояния насыпей, % при осевой нагрузке вагонов Р, т/ось							
	23	24	25	26	27	28	29	30
Кн	5,88	5,88	5,88	8,82	11,76	17,65	20,59	23,53
Ку	14,71	14,71	14,71	20,59	26,47	26,47	32,35	35,29

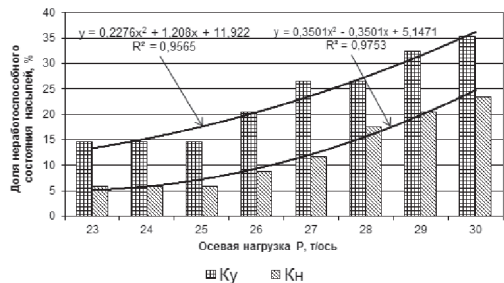


Рис. 2. Диаграмма изменения состояния насыпей в зависимости от осевой нагрузки вагонов.

ный профиль насыпи, который будет использоваться как базовый для разработки рекомендаций по оперативной оценке работоспособности насыпей на участках эксплуатации поездов с повышенными осевыми нагрузками. СТН Ц-01–95, СП 32–104–98, СНИП 32–01–95 при оценке состояния насыпей железных дорог даются рекомендации применительно к участкам с осевой нагрузкой не более 23 т/ось.

Для разработки рекомендаций на участках с повышенными осевыми нагрузками проведен анализ грунтов слагаемых насыпи, который показал, что в верхней ее части залегают песчаные грунты в среднем мощностью около 1 метра. Далее располагаются глинистые грунты в виде лёгких суглинков с консистенцией от тугопластичной до мягкопластичной и тяжелые суглинки в тугопластичном состоянии. Физико-механические характеристики грунтов приведены в [2].

Характерный поперечный профиль эксплуатируемой насыпи представлен на рис. 3.

Насыпи высотой до 6 метров включительно составляют при этом более 90% или 189 км от рассматриваемой длины участка. Крутизна откоса принята $m=2,00$; $m=1,75$; $m=1,50$. Для оценки работоспособности насыпи по критерию несущей способности были введены дополнительные значения крутизны откоса насыпи $m=1,25$; $m=1,00$.

Оценка работоспособности насыпей проводилась по блок-схеме (см. рис. 1 а). Несущая способность земляного полотна зависит от ряда параметров — таких, как крутизна откоса насыпи m , показателя текучести грунта I_L и осевой нагрузки P . Оценка же по критерию устойчивости откосов насыпи — от дополнительного параметра, высоты насыпи H .

В таблице 2 даны результаты оценки работоспособности насыпи по несущей способности.

Из таблицы 2 видно, что при крутизне откоса $m=2,00$ и показателе текучести $I_L=0,45$ работоспособность по критерию несущей способности не будет обеспечена для поездов с осевой нагрузкой вагонов более 23 т/ось. При крутизне откоса $m=1,75$, показателе текучести $I_L=0,40$ предельная осевая нагрузка вагонов — не более 25 т/ось.

Результаты оценки работоспособности насыпей по устойчивости откосов представлены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что при характеристиках грунта, соответствующих показателю текучести $I_L=0,35$ и высоте насыпи 6 метров

Рис. 3. Эксплуатационный поперечный профиль насыпи.

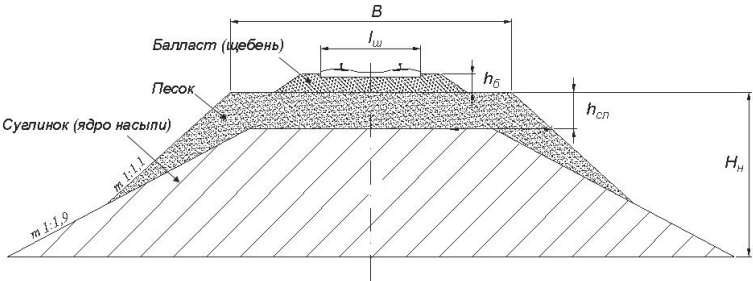


Таблица 2

Результаты оценки работоспособности насыпи по критерию несущей способности основной площадки Кн

Крутизна откоса, $m=1$:	Показатель текучести I_L	Несущая способность земляного полотна q , кПа	Коэффициент несущей способности K_n , при эксплуатации вагонов с осевой нагрузкой P , т/ось			
			23	25	27	30
2,00	0,40	81	1,21	1,16	1,12	1,06
	0,45	55	0,82	0,79	0,76	0,72
1,75	0,35	102	1,51	1,46	1,40	1,33
	0,40	69	1,03	0,99	0,96	0,90
	0,45	45	0,68	0,65	0,63	0,59
1,50	0,35	85	1,26	1,21	1,17	1,10
	0,40	56	0,83	0,80	0,77	0,73
1,25	0,30	100	1,49	1,43	1,38	1,30
	0,35	66	0,98	0,95	0,91	0,86
1,00	0,25	115	1,71	1,64	1,58	1,50
	0,30	76	1,13	1,09	1,05	0,99
	0,35	47	0,70	0,67	0,64	0,61

включительно работоспособность не будет обеспечена для эксплуатации поездов с нагрузкой более 23 т/ось. При тех же параметрах насыпей, но при высоте 5 метров – при осевой нагрузке вагонов более 25 т/ось.

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать внести изменения в СТН Ц-01–95. Осуществлять индивидуальное проектирование при характеристиках грунта, соответствующих показателю текучести $I_L=0,35$, при эксплуатации поездов с осевой нагрузкой 30 т/ось – для насыпей высотой свыше 4 метров; при осевой нагрузке 25 т/ось – свыше 5 метров.

Комплексный подход к оценке работоспособности насыпей позволяет более технически грамотно и экономически эффективно выбирать способы усиления и стабилизации земляного полотна на участках эксплуатации поездов с повышенными осевыми нагрузками.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

На основе предложенной методики были разработаны технические решения по обеспечению работоспособности насыпей на участке эксплуатации поездов с повышенными нагрузками БМО в направлении станций Вековка – Бекасово – Смоленск. Предложены два варианта усиления основной площадки насыпи с использованием георешеток.

Первый вариант – укладка георешетки на основную площадку (40 см от нижней постели шпалы).

Второй вариант – укладка двух слоев георешетки, при этом второй слой укладывается ниже первого на 20 см.

Для обоснования технических решений проведены исследования по обеспечению несущей способности основной площадки при различных параметрах георешеток. Они проводились с использованием конечно-элементной модели в программе Plaxis. В результате получены зависимости отношений допускаемых и действующих напряжений от параметра осевой жесткости георешетки (рис. 4). Осевая жесткость георешетки рассчитывается из выражения:

$$EA = \frac{F}{\Delta l / l}, \tag{2}$$

где EA – осевая жесткость на метр ширины, кН/м; F – растягивающая сила, кН; $\Delta l / l$ – относительная деформация при растягивающей силе.

Все основные компоненты формулы (2) берутся из технических характеристик георешеток.

На рис. 4 представлен график подбора георешетки с оптимальными параметрами. По данному графику можно подобрать параметры георешетки в зависимости от её осевой жесткости, зная





Таблица 3

Результаты оценки работоспособности насыпи по критерию устойчивости откосов K_u при крутизне откоса насыпи $m=1:2,00$

Показатель текучести I_L	Высота насыпи H , м	Коэффициент устойчивости K_u при осевой нагрузке вагона P , т/ось			
		23	25	27	30
0,30	4	1,55	1,50	1,45	1,39
	5	1,47	1,42	1,38	1,33
	6	1,42	1,39	1,35	1,30
	7	1,39	1,36	1,33	1,29
0,35	4	1,35	1,31	1,27	1,21
	5	1,27	1,24	1,20	1,16
	6	1,23	1,20	1,17	1,13
	7	1,21	1,18	1,16	1,12
0,40	4	1,19	1,15	1,12	1,07
	5	1,12	1,09	1,06	1,02
	6	1,08	1,05	1,03	0,99
	7	1,06	1,03	1,01	0,98

отношение действующих напряжений на уровне укладки георешетки к допускаемым напряжениям (несущая способность):

$$EA_{TP} = \frac{\sigma_o}{\sigma_{дон}}, \quad (3)$$

где EA_{TP} – требуемая осевая жесткость георешетки; σ_o – действующие напряжения на уровне укладки георешетки, кПа; $\sigma_{дон}$ – допускаемые напряжения (несущая способность) на уровне укладки георешетки, кПа.

Пример: Действующие напряжения на уровне укладки георешетки равны 100 кПа, грунт насыпи – лёгкий суглинок. Допускаемые напряжения 85 кПа. Соответственно $EA_{TP}=100/85=1,18$. Согласно графику 4 и кривой 2, требуемая осевая жесткость георешетки – 600 кН/м.

Для насыпей, у которых не обеспечивается работоспособность по критерию устойчивости откоса, был предложен вариант повышения устойчивости откоса – отсыпка контрбанкета. В качестве дренирующего материала используется техногенный грунт отсевов щебня сухой магнитной сепарации (отсевы щебня СМС).

Данный материал активно используется на Верховской дистанции пути Московской железной дороги. Авторами были проведены испытания грунта по определению его физико-механических характеристик и уплотняемости.

На основе анализа физико-механических характеристик грунта отсевов щебня СМС и математических расчетов устойчивости откосов установлено, что применение указанного грунта для отсыпки контрбанкета позволяет сократить объемы контрбанкета примерно на 38% (рис. 5) по сравнению с песчаным грунтом. Объем контрбанкета снижается за счет удельного веса отсева щебня СМС, который больше в 1,47 раза (удельный вес отсевов щебня СМС $\gamma=26,37$ кН/м³) в сравнении с песчаным грунтом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика комплексной оценки работоспособности насыпей с повышенными нагрузками.

Даны рекомендации для внесения изменений в СТН Ц-01–95, касающиеся индивидуального проектирования насыпи. В частности, предлагается осуществлять подобное проектирование при наличии грунта, соответствующего показателю текучести $I_L=0,35$ в условиях эксплуатации поездов с осевой нагрузкой 30 т/ось для насыпей высотой более 4 метров; с осевой нагрузкой 25 т/ось – более 5 метров.

На основе математического моделирования были рекомендованы варианты оптимального подбора георешетки для усиления основной площадки насыпи, в том числе контрбанкетом из материала отсевов щебня СМС.

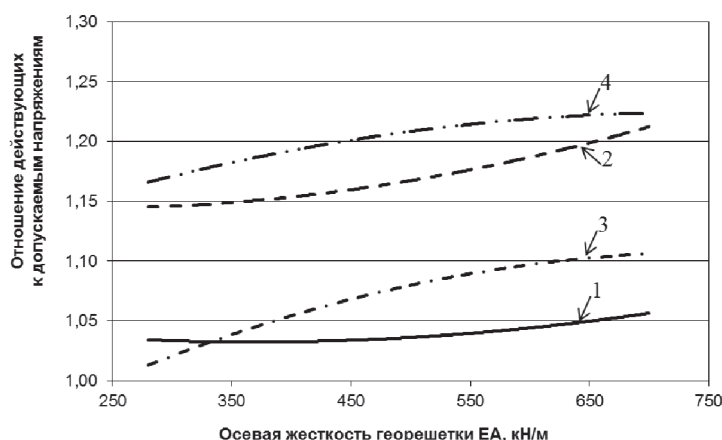


Рис. 4. К подбору георешетки с оптимальными параметрами:
 1 – первый вариант (одна георешетка) для насыпей из лёгкого суглинка;
 2 – второй вариант (две георешетки) для насыпей из лёгкого суглинка;
 3 – первый вариант (одна георешетка) для насыпей из тяжёлого суглинка;
 4 – второй вариант (две георешетки) для насыпей из тяжёлого суглинка.

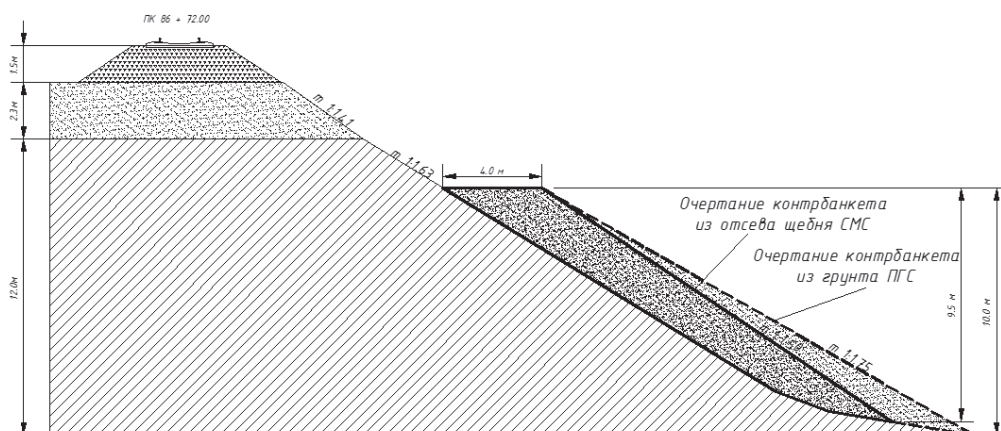


Рис. 5. Сравнение объемов отсыпки контрбанкета из отсева щебня СМС и песчаного грунта.

ИСТОЧНИКИ

1. Указания по техническим решениям по усилению и стабилизации основной площадки земляного полотна на участках обращения вагонов с повышенными осевыми и погонными нагрузками, тяжеловес-

ных и длиннооставных поездов. – М.: ВНИИЖТ, 1993.

2. Технические указания по применению габионов для усиления земляного полотна. / ЦПИ № 22/43: Утв. 30.12.1997. – М.: ПТКБ ЦП МПС, 1998.

COMPLEX ASSESSMENT OF FUNCTIONALITY OF RAILWAY EMBANKMENT

Vinogradov, Valentine V. – D.Sc. (Tech), professor, pro-rector – rector for education and training of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

Naumov, Vassily V. – principal engineer of a department of Engineering center Yamal Ilc., Ph. D. student at the department of track and track facilities of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The authors describe the technique to assess operability of subgrade of the railways, publish the results of its use for the assessment of functionality of embankments at the pieces of line with the traffic of the trains with increased axial load, and propose variants of technical decisions to reinforce the embankments.

Key words: subgrade, integrated assessment, technique to assess functionality of embankments, bearing capacity of the main track formation, stability of railroad slope.

Координаты авторов (contact information): Виноградов В. В., Наумов В. В. – Vassily-Naumov@yandex.ru

