

4 Об утверждении нормативов численности работников, занятых текущим содержанием пути и искусственных сооружений : приказ Бел. ж. д. от 28.07.2017 № 235Н.

5 СТП БЧ 56.388-2022. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 14.05.2022 № 370НЗ. – Минск, 2022. – 30 с.

УДК 624.154.5:691.32

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ НАСЫПИ МИНИМАЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ ИЗ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЕЕ ОТКОСОВ

А. Н. НЕВЕЙКОВ

Государственное предприятие «Институт “Белжелдорпроект”», г. Минск, Республика Беларусь

А. В. ЛУКАСЕВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Устройство земляного полотна входит в перечень объектов, подлежащих подтверждению соответствия требованиям безопасности ТР ТС 003/2011 [1]. В соответствии с данным техническим регламентом «выбранные проектировщиком (разработчиком) конструкции объектов технического регулирования настоящего технического регламента должны быть безопасны в течение назначенного срока службы и (или) до достижения назначенного ресурса, в течение назначенного срока хранения, а также должны выдерживать воздействия и нагрузки, которым они могут подвергаться в процессе эксплуатации». Таким образом, при проектировании и строительстве земляного полотна необходимо обеспечить требуемый уровень его надежности по прочности, устойчивости и деформативности от движения поездов в течение срока эксплуатации при минимальных затратах, максимальном сохранении ценных пахотных земель и минимальном ущербе окружающей среде. Этим требованиям удовлетворяет проектирование насыпи минимального очертания.

Проектирование земляного полотна железных дорог в Республике Беларусь осуществляется с учетом требований ТКП 45-3.03-163-2009 «Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования» [2] и СНБ 3.03.01-98 «Железные дороги колеи 1520 мм» [3].

Пробелом отмеченных ТНПА является то, что проектировщик, по сути, не отвечает за принятые проектные решения по земляному полотну, применяя типовые решения, отраженные в ТНПА, что совершенно недопустимо, так как не требуется их дополнительное обоснование расчетами по устойчивости, прочности, допустимым осадкам. Это создает неопределенность в проектировании и противоречит требованиям безопасности [1], как будет показано ниже. Такой подход к проектированию нуждается в пересмотре, и все проектные решения по земляному полотну должны подкрепляться расчетами. Однако согласно ТНПА этого не требуется. При однородном грунте, отсутствии сложных инженерно-геологических условий и подтопления, высоте насыпи или глубине выемки до 12 м проектировщик обязан принять следующую крутизну откосов, укрепленных посевом трав [2, 3]:

- для дренирующих грунтов (крупнообломочные грунты, пески крупные и средние) – 1:1,5;
- пески мелкие и пылеватые – 1:1,5 при высоте откоса до 6 м; 1:1,75 в нижней части откоса (высота до 6 м) и 1:1,5 в верхней части откоса (высота от 6 до 12 м);
- глинистые грунты – 1:1,75 при высоте откоса до 6 м; 1:2 в нижней части откоса (высота до 6 м) и 1:1,75 в верхней части откоса (высота от 6 до 12 м).

В иных случаях, а также при применении указанных выше однородных грунтов с повышенным их влагосодержанием требуется индивидуальное проектирование земляного полотна [2, 3].

Нами выполнены проверочные расчеты устойчивости откосов насыпи из дренирующих грунтов под однопутную железную дорогу с крутизной откосов 1:1,5 и шириной основной площадки 6,6 м в программах «SLIDE-БАЛТПРОЕКТ», «ГЕО5-УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСА», «ГЕО5-МКЭ». Насыпь принята сложенной из песков крупных с характеристиками $\gamma_1 = 18,1 \text{ кН/м}^3$; $\varphi_1 = 36^\circ$; $c_1 = 1 \text{ кПа}$; $E = 38 \text{ МПа}$. Основанием насыпи приняты пески мелкие с характеристиками $\gamma_1 = 18,5 \text{ кН/м}^3$; $\varphi_1 = 32^\circ$; $c_1 = 2 \text{ кПа}$; $E = 28 \text{ МПа}$ и уровнем грунтовых вод на 2 м ниже подошвы насыпи. При расчетах варьировали высоту насыпи от 4 до 12 м с шагом по высоте 1 м для определения высоты насыпи, при которой не обеспечены требования нормативных документов в части коэффициента устойчивости.

Расчет устойчивости насыпи земляного полотна осуществляли по первому предельному состоянию – несущей способности. В процессе расчета определяли наиболее опасную поверхность обрушения. Устойчивость откосов считали обеспеченной, если расчетный коэффициент устойчивости $K_{уст}$ превышает его нормативное значение K_S ($K_{уст} \geq K_S$), установленное ТНПА. При нарушении данного условия необходимо принять решение о перепроектировании очертаний земляного полотна или о разработке вариантов армирования откосов или основания насыпи. Для эксплуатационного периода на основное сочетание нагрузок с учетом применяемых методов расчета по прочностным характеристикам грунта значение K_S в зависимости от категории дороги принимали от 1,1 (IV категория дороги) до 1,25 (скоростные и грузонапряженные дороги). При расчетах насыпей с высоким уровнем динамического воздействия (в расчетах не рассматривали), сооружаемых из мелких и пылеватых песков и супесей, значение K_S должно быть не менее 1,25 и необходимо учесть динамический коэффициент [1].

В программе «SLIDE-БАЛТПРОЕКТ» расчет ведется классическим методом предельного равновесия по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения, которые строятся по трем точкам, меняющим свое положение на основной площадке, на основании за подошвой и внутри поперечника. Расчет в программе выполняется по гипотезе наклонных сил взаимодействия между элементами призмы обрушения.

В программе «ГЕО5-УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСА» расчет устойчивости откосов ведется классическими методами предельного равновесия грунтов. Для расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения в программе выбирали метод Шахунянца как наиболее консервативный и основной метод по полноте и точности учета факторов для расчета устойчивости откосов железнодорожных насыпей [2].

Программа «ГЕО5-МКЭ» основана на методе конечных элементов и предназначена для моделирования и анализа широкого спектра геотехнических задач. При расчете устойчивости программа уменьшает заданные значения угла внутреннего трения ϕ_1 и удельного сцепления c_1 грунта и прослеживает тот момент, когда произойдут нарастающие пластические деформации в откосе и потеря его устойчивости. В результате расчёта получали коэффициент устойчивости, который соответствует классическим методам.

В проведенных расчетах на устойчивость нагрузку от подвижного состава и верхнего строения пути принимали по первой группе предельных состояний в соответствии с действующими ТНПА [2]. Для временной нагрузки была принята эквивалентная равномерно распределённая расчетная нагрузка на ширине 2,7 м, равная 90 кПа. Этой величине соответствует погонная предельная нагрузка на одну рельсовую колею 210–220 кН/м. Расчетная постоянная нагрузка от веса рельс, железобетонных шпал и балластного слоя была принята равномерно распределенной на ширине 4,6 м, равной 20 кПа.

Во всех расчетных программах при принятых одинаковых исходных данных получены несколько отличающиеся коэффициенты устойчивости откосов. Различия в коэффициентах объясняются применяемыми методами расчета и точностью настроек детализации в них, в том числе и при автоматическом разбиении при расчете. Из результатов расчета следует, что устойчивость насыпи обеспечена, но полученные расчетами коэффициенты устойчивости откосов насыпи с уклоном 1:1,5 при принятых для устройства насыпи дренирующих грунтах и нагрузках не соответствуют требованиям ТНПА [2]:

- при высоте насыпи 5 м и более для скоростной и особо грузонапряженной категории дороги, а также для насыпей с высоким уровнем динамического воздействия ($1,20 < K_{уст} < K_S = 1,25$);
- при высоте насыпи 9 м и более для I и II категорий дорог ($1,15 < K_{уст} < K_S = 1,2$);
- при высоте насыпи 12 м и более для III категорий дорог ($1,1 < K_{уст} < K_S = 1,15$).

При проектировании насыпи из недренирующих песчаных грунтов, учитывая изложенные выше результаты для дренирующих грунтов, следует ожидать несоответствие коэффициентов устойчивости откосов требованиям нормативных документов при меньших высотах насыпи.

Таким образом, подход ТНПА [2, 3] с применением типовых решений нуждается в пересмотре, а все проектные решения по земляному полотну насыпей рекомендуется обосновывать расчетами.

Список литературы

- 1 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта. – Минск : Госстандарт, 2012; БелГИСС, 2012. – 35 с.
- 2 ТКП 45-3.03-163-2009. Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. Введ. 2009-12-07. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 99 с.
- 3 СНБ 3.03.01-98. Железные дороги колеи 1520 мм. – Минск : Минстройархитектуры, 1998. – 26 с.