

# Основные положения проектирования земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий

П. И. ДЫДЫШКО, С. В. ОЛЬХИНА

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

**Аннотация.** В статье отражена актуальность организации высокоскоростного движения поездов на железных дорогах России, изложен порядок получения исходных данных для проектирования и приведены технические решения земляного полотна дифференцированно в зависимости от состава, свойств и состояния грунтов, а также видов земляного полотна (насыпи, выемки, нулевые места) и различных климатических условий.

**Ключевые слова:** земляное полотно; железнодорожный путь; высокоскоростные железнодорожные линии; конструкции насыпей и выемок

**Введение.** К числу прогрессивных технических направлений современности в области транспортного строительства относятся высокоскоростные и скоростные железные дороги. Высокоскоростные дороги проектируют для скорости движения поездов от 200 до 400 км/ч, скоростные — до 200 км/ч.

Организация высокоскоростного движения пассажирских поездов на железных дорогах России является актуальной задачей ввиду необходимости повышения мобильности населения, обусловленной социальными и географическими факторами. К этим факторам относятся обширная территория страны, большая протяженность дорог, удаленность мест проживания работников от мест работы, создание и сокращение рабочих мест, вахтовые методы обслуживания предприятий, вопросы туризма, отдыха и другие.

Вид и конструкцию земляного полотна — основания высокоскоростных железнодорожных линий, назначают при технико-экономическом обосновании их трассы на основе анализа состояния объектов в аналогичных условиях, изучения геоморфологических и климатических условий, ландшафтной характеристики местности, природных процессов и явлений и других параметров. Эти показатели уточняют в процессе проектирования после проведения инженерных изысканий.

**Исходные данные для проектирования.** При проведении инженерно-геологических изысканий в сложных и средней сложности условиях глубину вы-

работок (скважин) назначают не менее чем на 4 м ниже расчетной, прогнозируемой глубины промерзания земляного полотна. В пределах насыпей основание проходят выработками на глубину не менее 6 м. Скважины в каждом поперечном сечении назначают по оси путей и в средней части откосов. Кроме этого, на каждом виде земляного полотна (насыпь, выемка, нулевое место), но не реже чем через 1 км, устраивают скважины глубиной 10–15 м.

Для получения исходных данных выполняют георадиолокационное зондирование (георадар «ЛОЗА») [1], электроконтактное динамическое зондирование (ЭДЗ) [2] и геологические работы.

При проектировании высокоскоростных железнодорожных линий в расчетах несущей способности грунтов и устойчивости земляного полотна принимают нагрузку от подвижного состава, равную 294 кН (30 тс) на ось четырехосного грузового вагона, соответствующую рабочим поездкам, используемым при эксплуатации этих линий.

Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения устанавливают в соответствии с СП 38.13330.2012 [3].

Наивысший расчетный уровень воды следует определять по СП 33-101-2003 [4] исходя из вероятности превышения 1:300 (0,33%).

Бровка земляного полотна и дамб на подходах к водопропускным сооружениям, через водотоки в пределах их разлива, а также верх укрепления подтопленных откосов должны возвышаться над наивысшим расчетным уровнем воды с учетом подпора, наката волны на откос, ветрового нагона и ледовых явлений не менее чем на 0,8 м.

Типы укрепления откосов, подвергающихся воздействию волн и водного потока, назначают исходя из вероятности превышения расходов паводка и соответствующих им расчетных уровней воды на пике паводков равной 1:100, что соответствует I классу гидротехнических сооружений.

Высоту ветрового нагона и величину ветровых волн определяют в соответствии с требованиями

■ E-mail: [Olhina.Svetlana@vniizht.ru](mailto:Olhina.Svetlana@vniizht.ru) (С. В. Ольхина)

СП 38.13330.2012 для указанной выше обеспеченности расчетных уровней воды.

При определении нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения обеспеченности расчетных уровней должны быть для сооружений I класса не более 1 %.

Величину нагона необходимо определять для шторма не более 1 % обеспеченности, возникающего при прохождении наибольшего годового пика паводка. Высоту наката и тип укрепления следует устанавливать для волны 1 % обеспеченности в этом шторме.

**Технические решения земляного полотна высокоскоростных линий.** Ширину земляного полотна поверху (основной площадки) назначают равной  $b = 15,5$  м, ширину междупутья –  $b_m = 5,5$  м. Поверхности основной площадки необходимо придавать двусторонний уклон 0,04 от середины междупутья в сторону бровок земляного полотна.

Насыпи высотой до 9 м включительно и выемки глубиной до 9 м и менее следует проектировать по групповым решениям.

Взамен насыпей высотой более 9 м и насыпей в пределах болот глубиной более 7 м следует предусматривать эстакады, а взамен выемок глубиной более 9 м – тоннели.

Насыпи на болотах глубиной до 7 м, а также на сыром и мокром основании проектируют из дренирующих грунтов с заменой грунтов в основании на эти грунты.

К дренирующим по условиям работы земляного полотна относят несвязные грунты, имеющие при максимальной плотности по стандартному уплотнению коэффициент фильтрации не менее 3,0 м/сут и содержание в гранулометрическом составе не более 10 % частиц размером менее 0,1 мм. Повышенные значения коэффициента фильтрации обусловлены увеличением ширины земляного полотна.

Применение мелких и пылеватых песков для сооружения насыпей предусматривать не следует.

Крутизну откосов насыпей и выемок принимают от 1:1,5 до 1:2 в зависимости от вида и состояния грунтов. В скальных слабовыветривающихся грунтах крутизна откосов должна составлять 1:0,5.

В верхней части земляного полотна из всех видов глинистых грунтов, а также на нулевых местах и в выемках, сложенных мелкими и пылеватыми песками, легковыветривающимися и выветривающимися скальными грунтами, предусматривают устройство защитного слоя. Этот слой устраивают на 0,5 м ниже максимальной прогнозируемой глубины промерзания-оттаивания, его толщина должна быть не менее 2,5 м.

В защитном слое следует применять дренирующие грунты.

При использовании песков в верхней части защитного слоя (на основной площадке) и на его откосах,

за исключением их нижней части высотой 0,8 м, назначают укрепление этих песков. Крутизну откосов принимают равной 1:2.

Глинистые грунты под защитным слоем в выемках, на нулевых местах и насыпях также подлежат укреплению.

Укрепляемые слои должны содержать смесь из 70 % песка среднего и 30 % суглинка, характеризуемого влажностью на границе текучести  $w_L = 0,28$ . Эту смесь в слое толщиной 0,4 м укрепляют жидкими и порошковыми добавками полифиллизаторов соответственно в количестве 1,4 л/м<sup>3</sup> и 60 кг/м<sup>3</sup> [5].

Поверхности укрепленного грунта под каждым путем необходимо придавать уклон 0,04 в полевую сторону.

На основной площадке следует укладывать покрытие из нетканого материала массой не менее 500 г/м<sup>2</sup> поверх геосетки из базальтволокна массой не менее 1000 г/м<sup>2</sup>, имеющей прочность на разрыв 15 000 кгс/м.

В защитном слое и насыпи следует укладывать на всю ширину геосетку из базальтволокна указанной массы через 1 м их высоты (рис. 1).

В откосных частях насыпи из глинистых грунтов назначают укладку слоя из дренирующих грунтов (рис. 2). Толщина слоя этих грунтов должна составлять  $d_o = 0,6Z_{пр-от}^{рл}$ , где  $Z_{пр-от}^{рл}$  – глубина промерзания-оттаивания земляного полотна, сложенного дренирующими грунтами (по оси пути), определяемая расчетом.

Выемки глубиной более 4 м в глинистых грунтах, лессах, крупнообломочных грунтах с глинистым заполнителем, мелких и пылеватых песках проектируют с заклеветными полками шириной 5 м (рис. 3).

В откосных частях выемок, сложенных глинистыми грунтами и песками, предусматривают устройство слоя из дренирующих грунтов толщиной  $d_o = 0,6Z_{пр-от}^{рл}$ .

Нулевые места и выемки глубиной до 4 м в глинистых грунтах рекомендуется разрабатывать под насыпь (рис. 4).

Толщина слоя балласта из щебня по ГОСТ 7392–2014 [6] под подошвой шпал должна быть не менее 0,5 м. В уровне подошвы шпал следует размещать нарезанные термическим способом полоски нетканого материала размером 5×5 см, уложенные в три слоя на ширину 3,4 м.

Модуль деформации подшпального основания в пределах верхнего слоя толщиной 3 м должен составлять не менее 90 МПа. Нормируемое значение этого модуля обеспечивается за счет уплотнения, укрепления и армирования грунта. Упругая осадка подшпального основания не должна превышать 1 мм.

В основании насыпей необходимо удалять почвенно-растительный слой. Коэффициент уплотнения грунтов основания следует назначать не ниже 0,98. Уплотнение выполняют путем трамбования, в том числе падающими грузами с большой высоты или

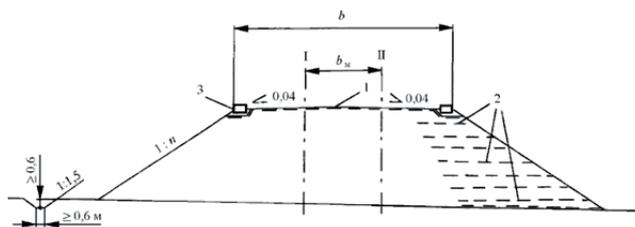


Рис. 1. Поперечный профиль насыпи из дренирующих грунтов на прочном основании: 1 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 2 — геосетка из базальтоволокна в насыпи; 3 — лоток для кабелей;  $b$  — ширина земляного полотна поверху (основная площадка);  $b_m$  — ширина междупутья

Fig. 1. Cross-section profile of the embankment from draining soils on a solid foundation: 1 — non-woven material and a geogrid of basalt fiber on the main site; 2 — geogrid from basalt fiber in the embankment; 3 — cable tray;  $b$  — width of the roadbed on top (main platform);  $b_m$  — the width of the intertrack space

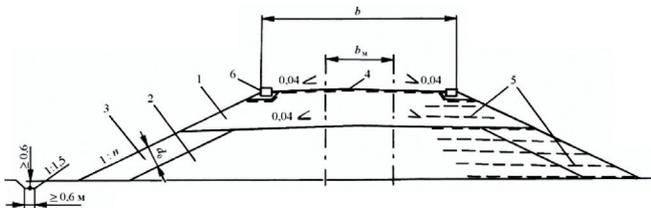


Рис. 2. Поперечный профиль насыпи из глинистых грунтов на прочном основании: 1 — защитный слой; 2 — глинистые грунты; 3 — дренирующие грунты в откосной части; 4 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 5 — геосетка из базальтоволокна в насыпи; 6 — лоток для кабелей

Fig. 2. Cross-section profile of the embankment from clay soils on a solid base: 1 — protective layer; 2 — clay soils; 3 — draining soil in the slope; 4 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 5 — geogrid from basalt fiber in the embankment; 6 — cable tray

другими способами. Понижения после трамбования заполняют местным грунтом с уплотнением. В глинистые грунты втрамбовывают щебень.

По краям основной площадки на покрытие из нетканого материала и геосетки располагают лотки для кабелей. Дно лотков должно быть ниже уровня бровки земляного полотна на 0,3 м. Лотки укладывают на слой щебня толщиной не менее 0,2 м. Плечо балластной призмы должно возвышаться над уровнем обочины не более чем на 0,5 м. С указанной целью на обочине необходимо размещать слой щебня толщиной не менее 0,3 м.

Выемки в крупнообломочных грунтах, в том числе с песчаным заполнителем, и в песках дренирующих (кроме мелких и пылеватых) сооружают с кюветами без полок за ними.

Устройство в пределах выемок кавальеров и банкетов не допускается. Грунт, вынутый из нагорной канавы, можно планировать между ней и бровкой выемки не доходя до бровки не менее 3 м, с уклоном 0,04 в сторону этой канавы.

В статье использованы авторские (оригинальные) рисунки.

Выемки в легковыветривающихся и выветривающихся скальных грунтах следует проектировать с кювет-траншеями глубиной не менее 0,8 м (ниже уровня подошвы откоса защитного слоя) и шириной 6 м с обеих сторон (рис. 5).

На поверхности откосов необходимо укладывать геоматы, в том числе совместно с растительным слоем.

В полосе отвода высокоскоростных железнодорожных линий помимо земляного полотна и водоотводных устройств должно быть предусмотрено размещение укрепительных, поддерживающих, противоналедных, снегозащитных и пескозащитных сооружений.

В расчетной схеме проверки устойчивости откосов насыпей и выемок принимают ломаное очертание поверхности скольжения в поперечном сечении.

Коэффициент устойчивости массива, разбиваемого на блоки, определяют по формуле

$$K = \sum_{i=1}^{i=n} \left[ \left( \operatorname{tg} \varphi_i N_i + c_i l_i + T_{i-\text{уд}} - U_i \right) \cos \varphi_i / \cos (\alpha_i - \varphi_i) \right] : \sum_{i=1}^{i=n} T_{i-\text{сд}} \cos \varphi_i / \cos (\alpha_i - \varphi_i), \quad (1)$$

где  $\varphi_i$  — угол внутреннего трения грунта;  $N_i$  — нормальная к линии возможного смещения составляющая силы тяжести расчетного блока;  $c_i$  — удельное сцепление;  $l_i$  — длина расчетного блока;  $T_{i-\text{уд}}$ ,  $T_{i-\text{сд}}$  — тангенциальные соответственно удерживающие и сдвигающие составляющие силы расчетного блока;  $U_i$  — поровое давление для блоков, сложенных песками, принимаемое равным 0,4 т/м<sup>2</sup> в районах избыточного увлажнения и 0,2 т/м<sup>2</sup> в районах с засушливым климатом;  $\alpha_i = \beta_i - \eta_0$ ;  $\beta_i$  — угол наклона линии возможного смещения расчетного блока;  $\eta_0 = \beta_{\text{ср}} - \varphi_{\text{ср}}$  — угол наклона сил взаимодействия между блоками для среднего или двух средних блоков.

Расчетные значения удельного сцепления и угла внутреннего трения грунтов устанавливают с учетом их снижения от вибродинамического воздействия поездов и при оттаивании.

Коэффициент устойчивости откосов должен быть не менее 1,4 при расчетном значении естественной влажности грунта не менее 0,8  $w_L$ , где  $w_L$  — влажность на границе текучести.

Расчет устойчивости откосов насыпей с геосетками из базальтоволокна следует выполнять по индивидуальным методикам.

Тип болота и характеристики слабого основания устанавливают по данным инженерно-геологических изысканий.

Возвышение бровки насыпи над поверхностью болота или слабого основания должно быть не менее 2,5 м.

Крутизну откосов насыпи необходимо назначать равной 1:2.

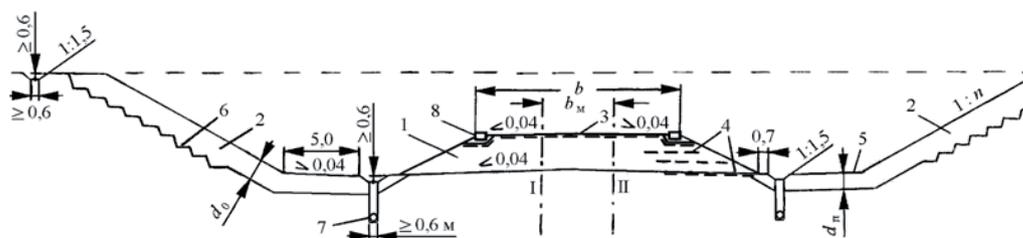


Рис. 3. Поперечный профиль выемки глубиной более 4 м в глинистых грунтах на прочном основании: 1 — защитный слой; 2 — дренирующие грунты; 3 — нетканый материал и геосетка из базальт-волокна на основной площадке; 4 — геосетка из базальт-волокна в защитном слое; 5 — закуветная полка; 6 — уступы в глинистом грунте откоса; 7 — подкуветный дренаж; 8 — лоток для кабелей  
 Fig. 3. Cross-section profile of the cutting more than 4 m deep in clay soils on a solid base: 1 — protective layer; 2 — draining soils; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 — over-ditch slope; 6 — ledges in the clayey soil of the slope; 7 — sub-ditch drainage; 8 — cable tray

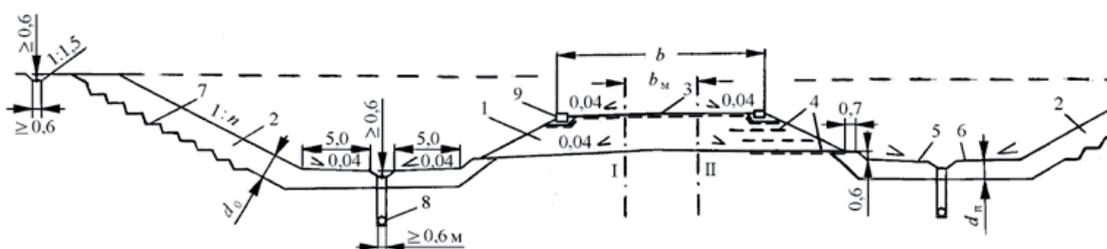


Рис. 4. Поперечный профиль выемки глубиной до 4 м в глинистых грунтах при ее разработке под насыпь:  
 1 — защитный слой; 2 — дренирующие грунты; 3 — нетканый материал и геосетка из базальт-волокна на основной площадке; 4 — геосетка из базальт-волокна в защитном слое; 5 — предкуветная полка; 6 — закуветная полка; 7 — уступы в глинистом грунте откоса; 8 — подкуветный дренаж; 9 — лоток для кабелей  
 Fig. 4. Cross-section profile of the cutting up to 4 m deep in clay soils when it is being developed for the embankment:  
 1 — protective layer; 2 — draining soils; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 — pre-ditch slope; 6 — over-ditch slope; 7 — ledges in the clayey soil of the slope; 8 — sub-ditch drainage; 9 — cable tray

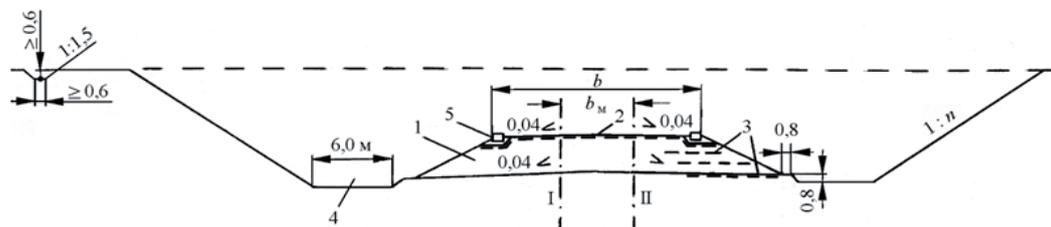


Рис. 5. Поперечный профиль выемки в легковетвирующих и выветривающихся скальных грунтах:  
 1 — защитный слой; 2 — нетканый материал и геосетка из базальт-волокна на основной площадке; 3 — геосетка из базальт-волокна в защитном слое; 4 — кювет-траншея; 5 — лоток для кабелей  
 Fig. 5. Cross-section profile of cutting in easily eroding and weathered rocky grounds:  
 1 — protective layer; 2 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 3 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 4 — ditch trench; 5 — cable tray

Поперечный профиль насыпей на болотах I–III типов и слабом основании представлен на рис. 6. С обеих сторон насыпи следует устраивать бермы шириной 4 м и высотой 1 м.

При использовании в насыпях песков должно предусматриваться их укрепление на основной площадке и откосах на высоту 2,5 м. В насыпи и бермах на всю ширину через 1 м по высоте до уровня воды следует укладывать геосетку из базальт-волокна.

Крутизну откосов траншеи выгорфовывания устанавливают равной 1:0,5. Расстояние от этой траншеи до водоотводных канав должно быть равно 4,0 м.

Грунты, которые теряют несущую способность при увлажнении (монтмориллонитовые, оталькованные, мел и другие особых разновидностей), а также просадочные III типа и выше вечномёрзлые грунты основания в выемках, на нулевых местах и невысоких до 4 м насыпях, заменяют на дренирующие. Замену грунтов в пределах подпального основания предусматривают в слое, толщину которого принимают равной  $P = Z_{\text{пр-от}}^{\text{pd}} + 0,5$  м. В пределах закуветных полков и откосов толщину слоя замены грунтов назначают соответственно  $d_n = 0,5Z_{\text{пр-от}}^{\text{pd}}$  и  $d_o = 0,6Z_{\text{пр-от}}^{\text{pd}}$ . Крутизну откосов устанавливают на основе расчета устойчи-

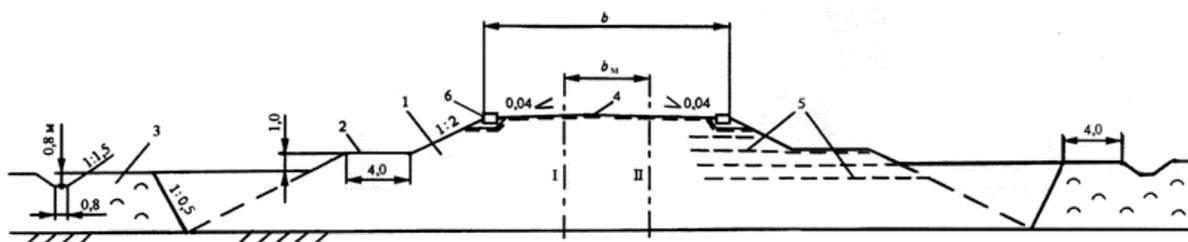


Рис. 6. Поперечный профиль насыпи на болотах I–III типов и слабом основании:

1 — насыпь из дренирующих грунтов; 2 — берма; 3 — торф (слабые грунты); 4 — нетканый материал и геосетка из базальт-волоконна на основной площадке; 5 — геосетка из базальт-волоконна в насыпи и берме; 6 — лоток для кабелей

Fig. 6. Cross-section profile of the embankment in the marshlands of I–III types and weak base:

1 — embankment of draining soils; 2 — berm; 3 — peat (weak ground); 4 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 5 — geogrid from basalt fiber in the embankment and berm; 6 — cable tray

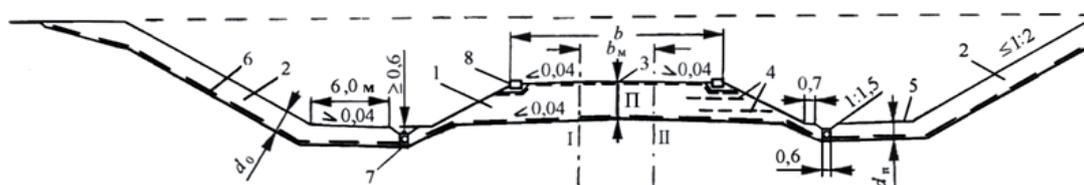


Рис. 7. Схема замены грунтов особых разновидностей и просадочных III–IV типа вечномёрзлых грунтов основания в выемке:

1 — замена грунтов на дренирующий под основной площадкой; 2 — то же в откосах и на закуветных полках; 3 — нетканый материал и геосетка из базальт-волоконна на основной площадке; 4 — геосетка из базальт-волоконна в дренирующих грунтах защитного слоя; 5 — закуветная полка; 6 — нетканый материал и геомембрана; 7 — подкуветный дренаж; 8 — лоток для кабелей

Fig. 7. Scheme of substitution of soils of special varieties and subsidence permafrost soils of III–IV types in the base of the cutting:

1 — substitution of soils for draining under the main site; 2 — the same in the slopes and in the over-ditch slopes; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the drainage grounds of the protective layer; 5 — over-ditch slope; 6 — non-woven material and geomembrane; 7 — sub-ditch drainage; 8 — cable tray

ности. Дренирующие грунты укладывают на нетканый материал и гидроизоляцию — профилированные свариваемые геомембраны [7]. Схема замены грунтов приведена на рис. 7.

Проектирование противоналедных мероприятий и устройств следует производить в местах наличия или возможного возникновения наледей в индивидуальном порядке на основании материалов инженерно-геологических и инженерно-геокриологических изысканий. В зависимости от местных условий следует применять следующие противоналедные мероприятия:

- углубление и спрямление русел водотоков, увеличение уклона русла;
- осушение местности открытыми канавами;
- каптаж, устройство дренажей, глубоких утепленных лотков при постоянно возникающих в зимнее время наледях;
- устройство грунтовых мерзлотных поясов и водонепроницаемых экранов, валов из грунта, заборов.

Для устройства мерзлотных поясов следует применять длинномерные термосифоны [8]. Испарители термосифонов размещают вдоль пути в траншеях с продольным уклоном не менее 0,1, которые засыпают вынутым грунтом. Расстояние между термосифонами следует принимать 2 м, количество термосифонов в поперечном сечении — не менее 4-х.

С целью предупреждения обледенения водопускных труб следует устраивать противоналедные

щиты на их входных оголовках. Щит крепится к брускам, установленным у края открылков. В пространстве между нижней кромкой щита и низом трубы оставляется щель шириной равной диаметру трубы и высотой от 2/3 до 3/4 высоты отверстия трубы (рис. 8). При заполнении этого пространства наледью поток воды под щит прекратится, и наледь продолжит расти перед щитом до расчетной высоты. Верхняя часть отверстия трубы останется свободной ото льда для стока весенних вод. Для исключения смерзания щита с наледью поверхность щита покрывают геомембраной. При наступлении положительных температур воздуха щит снимают. После снятия щита образуется ледяной порог, по которому вода проникает в свободное пространство трубы, разрушая наледь. На открылки укладывают крышку, на уровне низа щита устраивают настил и пространство между крышкой и настилом утепляют.

В выемках и на нулевых местах, слогаемых глинистыми грунтами с повышенной влажностью и пластичностью ( $0,25 < I_L \leq 0,50$ ), защитный слой следует устраивать на 0,75 м ниже максимальной прогнозируемой глубины промерзания-оттаивания, а в переувлажненных глинистых грунтах (показатель текучести  $I_L > 0,5$ ) — на 1,0 м.

Полку между наружной бровкой водоотвода и подошвой откоса в выемках глубиной более 4 м следует проектировать шириной не менее  $r = 6$  м в грунтах повышенной влажности и  $r = 7$  м — в переувлажненных

грунтах (рис. 9). Мелкие (до 4 м) выемки и нулевые места необходимо раскрывать в насыпь по схеме, показанной на рис. 10. Предкуветные и закуветные полки в грунтах повышенной влажности должны иметь ширину  $q = 5$  м и в переувлажненных —  $q = 6$  м.

В пределах откосов и полков необходимо производить замену глинистого грунта повышенной влажности на дренирующий на величину соответственно  $d_o = 0,7Z_{\text{пр-от}}^{\text{пл}}$  и  $d_n = 0,6Z_{\text{пр-от}}^{\text{пл}}$ .

Дренирующий грунт в защитном слое, на полках и в откосах следует укладывать на геомембрану, предотвращающую инфильтрацию атмосферных осадков в глинистый грунт, и многослойное покрытие (слой щебня толщиной 0,25 м между двумя слоями нетканого материала и геосетки), обеспечивающее несущую способность переувлажненного грунта за счет его дренирования. Многослойное покрытие располагают на слое дренирующего грунта толщиной 0,25 м. В пределах ширины защитного слоя пониже слой дренирующего грунта размещают на укрепленном цементацией слое грунта толщиной 0,3 м (см. рис. 9 и 10).

Уровень грунтовых вод в глинистых грунтах с повышенной влажностью понижают не менее чем на 1,5 м от границы промерзания, а в переувлажненных — не менее чем на 2 м.

Крутизну откосов выемок в глинистых грунтах повышенной влажности назначают не менее 1:2, а в переувлажненных — определяют при индивидуальном проектировании с проверкой расчетом устойчивости по формуле (1).

Для обеспечения стабильности откосов в проекте могут быть предусмотрены следующие меры:

- уменьшение крутизны откосов, в том числе с устройством разделительных полок (берм);
- удерживающие конструкции из гофрированных элементов [7], устраиваемые в нижней части откосов;

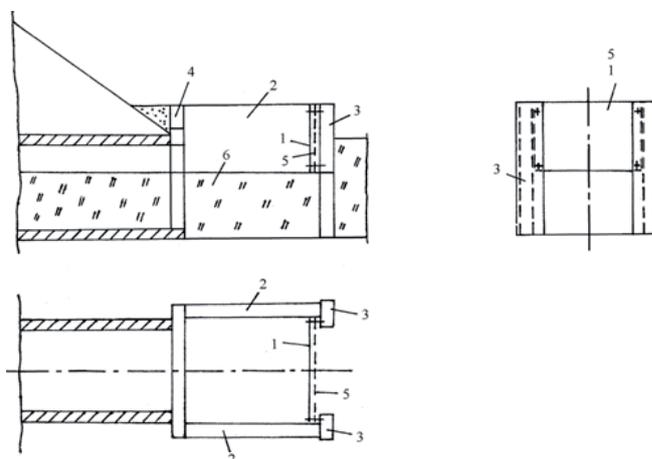


Рис. 8. Входной оголовок водопропускной трубы с противоналедным щитом: 1 — противоналедный щит; 2 — открывок; 3 — брус для крепления щита; 4 — надпортальная стенка; 5 — геомембрана; 6 — наледь  
 Fig. 8. The entrance head of the culvert with the anti-ice shield: 1 — anti-ice shield; 2 — openers; 3 — board for fastening the shield; 4 — overport wall; 5 — geomembrane; 6 — layer of ice

– укрепляющие грунтовые композиции из минерального (карбонатно-магнезиального и высококремнеземистого) сырья, наносимые на поверхность глинистого грунта слоем толщиной до 4 см, под слоем дренирующего грунта.

Земляное полотно на участках с проявлением карста необходимо проектировать преимущественно насыпями.

Расстояние от подошвы откоса насыпи или бровки выемки до прогнозируемой воронки максимального диаметра или полей и цепочек карстовых воронок принимают не менее 80 м. При наличии лишь карстовых воронок это расстояние назначают не менее 40 м.

При необходимости проектирования выемок откосы, полки и основная площадка должны быть покрыты гидроизоляционным материалом — геомем-

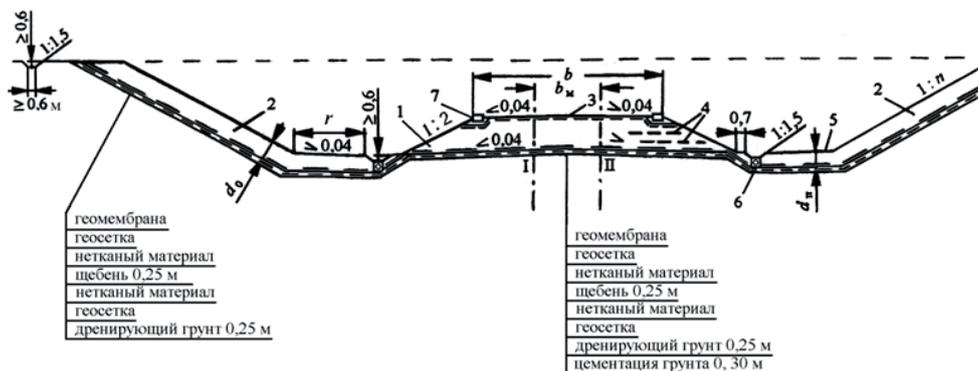


Рис. 9. Поперечный профиль выемки глубиной более 4 м в глинистых грунтах повышенной влажности: 1 — защитный слой; 2 — дренирующие грунты; 3 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 4 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 5 — закуветная полка; 6 — подкуветный дренаж; 7 — лоток для кабелей  
 Fig. 9. Cross-section profile of the cutting more than 4 m deep in clay soils of high humidity: 1 — protective layer; 2 — draining soils; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 — over-ditch slope; 6 — sub-ditch drainage; 7 — cable tray

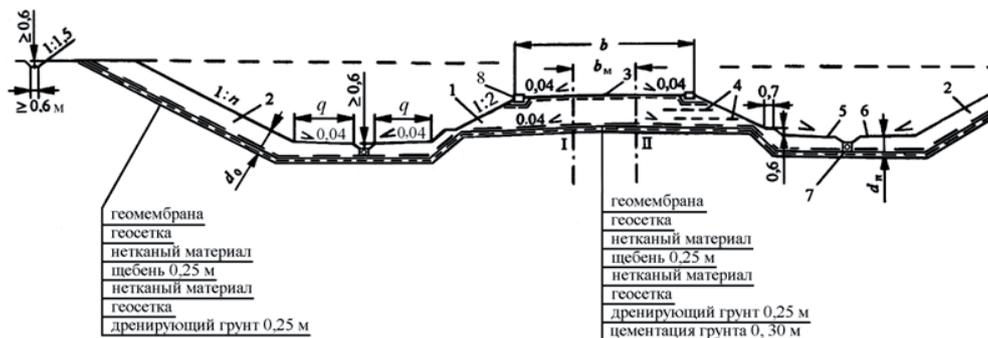


Рис. 10. Поперечный профиль разрабатываемой под насыпь выемки глубиной до 4 м в глинистых грунтах повышенной влажности: 1 — защитный слой; 2 — дренирующий грунт; 3 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 4 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 5 — предкуветная полка; 6 — закуветная полка; 7 — подкуветный дренаж; 8 — лоток для кабелей  
 Fig. 10. Cross-section profile of cutting of 4 m depth under the embankment in clay soils of high humidity: 1 — protective layer; 2 — draining soil; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 — pre-ditch slope; 6 — over-ditch slope; 7 — sub-ditch drainage; 8 — cable tray

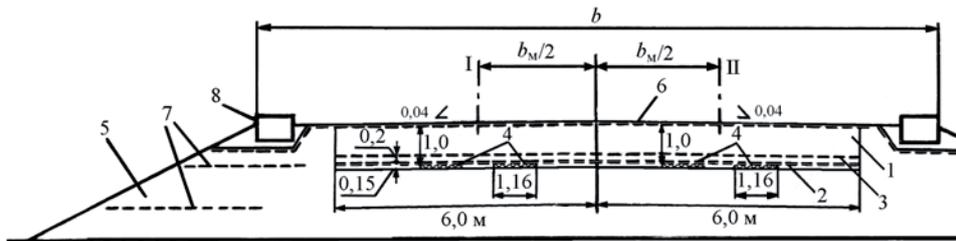


Рис. 11. Схема противокарстовой конструкции с усилением подбалластного слоя: 1 — укрепленный полифилизаторами грунт; 2 — геосетка из базальтоволокна, два слоя; 3 — то же, один слой; 4 — гофрированные листы; 5 — защитный слой; 6 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 7 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 8 — лоток для кабелей  
 Fig. 11. Scheme of anti-karst construction with reinforcement of the sub-ballast layer: 1 — ground reinforced with polifilizers; 2 — geogrid from basalt fiber, two layers; 3 — the same, one layer; 4 — corrugated sheets; 5 — protective layer; 6 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 7 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 8 — cable tray

бранами, полосы которых сваривают между собой. За пределами основной площадки поверх покрытия укладывают геоматы.

На всем протяжении карстоопасных участков, выявленных при инженерных изысканиях, с целью обеспечения безопасности движения поездов при реализации провалов диаметром до 4 м назначают

устройство слоя грунта, укрепленного жидкими и порошковыми добавками полифилизаторов [9]. Толщина слоя должна составлять 1 м. Его располагают под обоими путями. Расстояние от концов шпал до края этого слоя с каждой стороны должно быть не менее 1,9 м. В нижней части укрепленного слоя размещают геосетку из базальтоволокна в три слоя и гофрированные листы, соединяемые между собой болтами. Укрепленный слой необходимо устраивать в верхней части защитного слоя (рис. 11).

В процессе эксплуатации при обнаружении в ходе мониторинга образовавшегося провала его заполняют глинистым грунтом с уплотнением. Поверх провала устраивают гидроизоляцию из геомембран.

На карстоопасных участках следует предусматривать устройство противокарстовой сигнализации.

В пределах пассажирских платформ проектируют продольный водоотвод (лоток, дренаж с лотком) между платформой и путем. В конструкции платформ предусматривают наличие консоли со стороны пути, под которой на расстоянии от оси пути 2,25 м (в свету) должен располагаться продольный закрытый лоток. Дно лотка следует проектировать на уровне верха за-

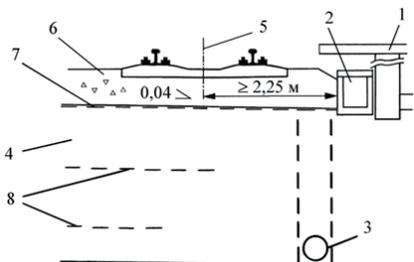
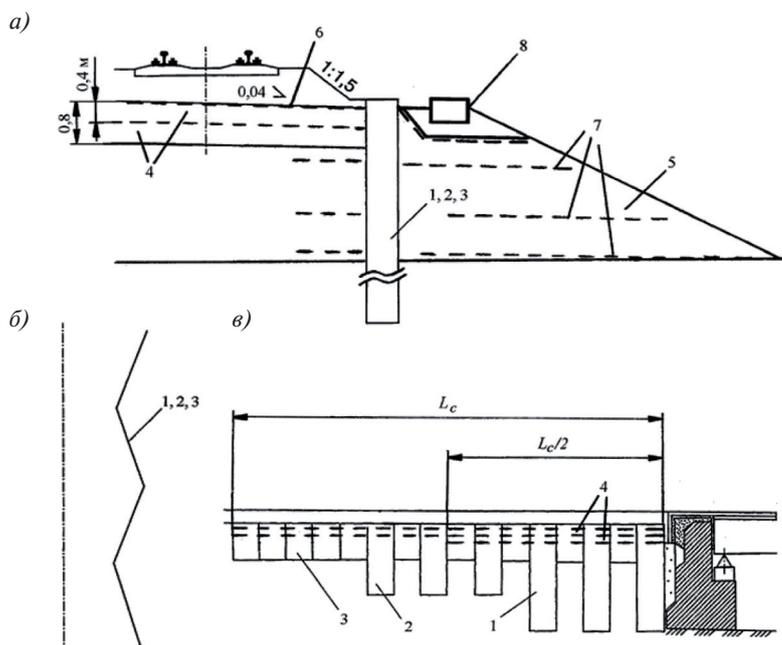


Рис. 12. Схема устройства водоотводов у пассажирской платформы: 1 — пассажирская платформа; 2 — лоток; 3 — дренаж; 4 — защитный слой; 5 — ось пути; 6 — балластный слой; 7 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 8 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое  
 Fig. 12. Structure scheme of the drainage system for the passenger platform: 1 — passenger platform; 2 — the tray; 3 — drainage; 4 — protective layer; 5 — axis of the track; 6 — ballast layer; 7 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 8 — geogrid from basalt fiber in the protective layer

Рис. 13. Схема устройства переходного участка земляного полотна на примыкании к устью моста:  
*a* — поперечный профиль; *б* — план;  
*в* — продольный разрез; 1, 2, 3 — гофрированные листы переменной длины в удерживающей конструкции;  
 4 — слои грунта, укрепленного полифилизаторами;  
 5 — защитный слой из дренирующего грунта;  
 6 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 7 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 8 — лоток для кабелей



щитного слоя (рис. 12). На уровне подошвы защитного слоя сооружают продольный дренаж.

В местах примыкания земляного полотна к устоям мостов следует проектировать сопряжения, конструкции которых будут обеспечивать стабильность конфигурации балластной призмы и верхней части земляного полотна, а также постепенное изменение жесткости основания пути.

На участке сопряжения земляного полотна с устоем моста следует предусматривать устройство укрепленного полифилизаторами слоя грунта переменной толщины в продольном направлении, обеспечивающего постепенное изменение жесткости основания пути, и удерживающих конструкций из гофрированных элементов (листов), предотвращающих пластические деформации (выдавливание) грунтов основания в пределах поймы (рис. 13). Длину участка сопряжения  $L_c$  от задней грани устоя назначают не менее 28 м.

**Вывод.** Технические решения, изложенные в данной статье, обеспечивают несущую способность грунтов и устойчивость земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий на протяжении всего жизненного цикла. Их целесообразно использовать при переработке норм проектирования земляного полотна этих линий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геофизический комплекс для определения границ геологических слоев серии «ЛОЗА»: сертификат соответствия нормативным документам ГОСТ Р 5376–2009 № 0935243, регистрац. № РОСС RU.АГ93.Н01175, выдан ООО «Компания ВНИИСМИ» 18.05.2012.

2. ЦПИ-36. Руководство по определению физико-механических характеристик балластных материалов и грунтов земляного полотна: утв. Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 30.01.2004.

3. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04–82\*6: утв. Минрегионом России 29.12.2011.

4. СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: утв. Госстроем России 26.12.2003.

5. Инструкция по усилению железнодорожного пути укрепляющими добавками полифилизаторов: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» 24.07.2013. № 1619р.

6. ГОСТ 7392–2014. Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015. 35 с.

7. ЦПИ-38. Технические указания и конструкторская документация по способам стабилизации земляного полотна (для опытного применения): утв. Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 18.12.2006.

8. ЦПИ-40. Технические указания по устранению осадков насыпей на вечной мерзлоте замораживанием оттаивающих грунтов длинномерными термосифонами: утв. Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 03.07.2007.

9. Способ усиления линейных объектов на карстоопасных участках: пат. 2581851 Российской Федерации / П.И. Дыдышко [и др.]. Заявл. 31.03.2015; опубл. 20.04.2016. Бюл. № 11. 8 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**ДЫДЫШКО Петр Иванович,**  
 д-р техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

**ОЛЬХИНА Светлана Владимировна,**  
 научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 06.04.2017 г., актуализирована 12.09.2017 г., принята к публикации 02.11.2017 г.

## Basic provisions for the design of the roadbed for high-speed railway lines

P. I. DYDYSHKO, S. V. OL'KHINA

Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

**Abstract.** The article reflects the relevance of the organization of high-speed train traffic on the railways of Russia, describes the procedure for obtaining the initial data and presents technical solutions to the roadbed differentially depending on the composition, properties and condition of the soils, as well as the types of roadbeds (embankments, cuttings, zero places) and climatic conditions.

The width of the roadbed on top (the main platform) is set equal to  $b = 15.5$  m, the width between the tracks —  $b_m = 5.5$  m. The surface of the main site should be given a two-sided slope of 0.04 from the middle of the intertrack space towards the edge of the roadbed.

The embankments up to 9 m inclusive and cuttings up to 9 m or less should be designed for group solutions.

Instead of embankments with a height of more than 9 m and embankments within marshes with a depth of more than 7 m, overpasses should be provided, and in place of cuttings with a depth of more than 9 m — tunnels.

Embankments in the marshes up to 7 m deep, as well as on moist and wet grounds, are projected from draining soils with the substitution of soils in the base for these soils.

A protective layer is provided in the upper part of the roadbed of all types of clayey soils, as well as in zero places and in cuttings composed of fine and dusty sands, easily eroded and friable rocky grounds. Draining soils are used in the protective layer.

When sand is used in the upper part of the protective layer (on the main site) and on its slopes, with the exception of the lower part, a height of 0.8 m is assigned to reinforce these sands with liquid and powdered polyfillers. The steepness of the slopes is assumed to be 1:2.

Clay soils under the protective layer in the cuttings, at zero places and embankments are also subject to strengthening.

It is proposed to use reinforcing layers from geogrids based on basalt fiber in combination with waterproofing geomembranes and drainage material providing effective water drainage, increasing bearing capacity and stability in complex engineering and geological conditions, including karst, characteristic for polygons of high-speed lines.

**Keywords:** roadbed; railway track; high-speed railway lines; structure of embankments and cuttings

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-362-370>

E-mail: [Olhina.Svetlana@vniizht.ru](mailto:Olhina.Svetlana@vniizht.ru) (S. V. Ol'khina)

### REFERENCES

1. *Geophysical complex for determining the boundaries of geological layers of the series "LOZA": certificate of conformity no. POCC RU.AГ93.H01175. Issued by LLC "Company VNIISMI" on 18.05.2012 (in Russ.).*
2. TsPI-36. *Guidelines for determining the physical and mechanical characteristics of ballast materials and soils of the roadbed.* Approved by Department of Tracks and structures of the JSC "Russian Railways" on January 30, 2004 (in Russ.).
3. SP 38.13330.2012. *Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice and from ships).* Updated version of SNiP 2.06.04-82 \* 6. Approved by Ministry of Regional Development of Russia on December 29, 2011 (in Russ.).
4. SP 33-101-2003. *Determination of the main design hydrological characteristics.* Approved by Gosstroy of Russia on December 26, 2003 (in Russ.).
5. *Instructions for reinforcing the railway track with reinforcing additives of polyfillers.* Approved by the order of the JSC "Russian Railways" on July 24, 2013, no. 1619r (in Russ.).
6. GOST 7392-2014. *Crushed stone from dense rocks for the ballast layer of the railway track. Technical specifications.* Moscow, Standartinform Publ., 2015, 35 p.
7. TsPI-38. *Technical instructions and design documentation for ways to stabilize the roadbed (for advanced use).* Approved by Department of Tracks and structures of the JSC "Russian Railways" on December 18, 2006 (in Russ.).
8. TsPI-40. *Technical instructions on elimination of sediments of embankments on permafrost by freezing thawing soils with long-term thermosiphons.* Approved by Department of Railways and Structures of the JSC "Russian Railways" on July 03, 2007 (in Russ.).
9. Dydyshko P. I., Kulichenko Yu. P., Ol'khina S. V., Utkina L. K., Veselov Yu. A. *The method of strengthening linear objects in karst-dangerous areas.* Patent no. 2581851. Moscow, Rospatent, 2015 (in Russ.).

### ABOUT THE AUTHORS

**Petr I. DYDYSHKO,**

Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, JSC "VNIIZhT"

**Svetlana V. OL'KHINA,**

Researcher, JSC "VNIIZhT"

Received 06.04.2017

Revised 12.09.2017

Accepted 02.11.2017

## ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Дыдышко П. И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2014. 416 с.

Изложены справочные данные и научное обоснование обеспечения стабильности земляного полотна железнодорожного пути, включая инновационные решения, на основе исследований процессов тепломассопереноса в грунтах. Представлено неизвестное ранее термоэлектрокинетическое явление, обуславливающее перенос влаги в капиллярных анизотермических системах, который влияет на несущую способность и устойчивость основания пути. Материалы справочника включают в себя порядок проведения ин-

женерных изысканий, методы расчетов, конструкции земляного полотна новых линий, дополнительных главных путей и усиления (реконструкции) эксплуатируемых линий. Рассмотрены объекты в различных инженерно-геологических условиях. Приведены порядок содержания земляного полотна, правила приемки объектов в эксплуатацию и правила охраны окружающей среды.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: [rio@vniizht.ru](mailto:rio@vniizht.ru), [www.vniizht.ru](http://www.vniizht.ru).