

Укрепление нестабильных насыпей геосетками из базальтоволокна и арматурными стержнями

П. И. ДЫДЫШКО¹, Е. В. МАТВЕЕВ², С. В. ОЛЬХИНА¹

¹Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

²Общество с ограниченной ответственностью «РЕКСТРОМ-К», Кимры, 171502, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема обеспечения стабильности насыпей на прочном и слабом основании. На построенной основной площадке земляного полотна из глинистых грунтов распространены балластные углубления (корыта, ложа). Экспериментально установлено наличие слабых грунтов в пределах обочин и откосных частей насыпей. Происходящие природно-техногенные процессы в грунтах насыпей на прочном основании приводят к снижению прочностных характеристик грунтов, сплывам и оползням откосов. С учетом этих процессов разработаны конструкции укрепления нестабильных насыпей с применением геосетки из базальтоволокна и арматурных стержней.

Ключевые слова: насыпи; прочное основание; слабое основание; геосетка из базальтоволокна; арматурные стержни

Введение. Предупреждение аварийных повреждений насыпей, расположенных на прочном основании, в результате которых движение поездов прерывается на длительное время, остается одной из первоочередных проблем на железных дорогах. Положение усугубляется с ростом аномалий климата в последние десятилетия (безморозные зимы с дождями, холода в теплый период и другие).

На построенной основной площадке земляного полотна из глинистых грунтов распространены балластные углубления (корыта, ложа). Дополнительно экспериментально установлено наличие слабых грунтов в пределах обочин и откосных частей насыпей. При этом дренирующие грунты находятся в рыхлом состоянии, а глинистые грунты, особенно на границе с дренирующими, — в текучем-текучепластичном состоянии. В результате этого реактивный отпор откосных частей отсутствует, и подвижная нагрузка воспринимается полосой (призмой) более прочного грунта с крутыми стенками непосредственно под рельсошпальной решеткой.

Установленное с помощью электроконтактного динамического зондирования (ЭДЗ) [1] слабое состояние грунтов характеризуется низким условным динамическим сопротивлением ($P_d \leq 3$ МПа) (рис. 1). Такое состояние грунтов обусловлено отсутствием стока инфильтрующихся осадков с деформированной поверхности глинистого грунта на построенной основной площадке насыпи, вибродинамическим воздействием поездной нагрузки и изменениями температурно-влажностного режима. При сплывах и оползнях откосов грунтовые массивы отрываются, как правило, по борту балластного ложа и, перемещаясь, запрокидываются. Высота вертикальной стенки отрыва может достигать 2,5–4 м. После сплыва сток с основной площадки улучшается, но на откосах образуются погребенные под дренирующим грунтом западины, переувлажняющие грунт до текучего состояния. Векторы перемещений грунтовых массивов в земляном полотне направлены вниз и в стороны от оси пути. Происходят неравномерные осадки насыпи.

В местах примыкания земляного полотна к устоям мостов величина опускания рельсовых нитей по сравнению с устоем повышена за счет увеличенного размера люфтов между элементами верхнего строения, возникающих вследствие остаточных деформаций

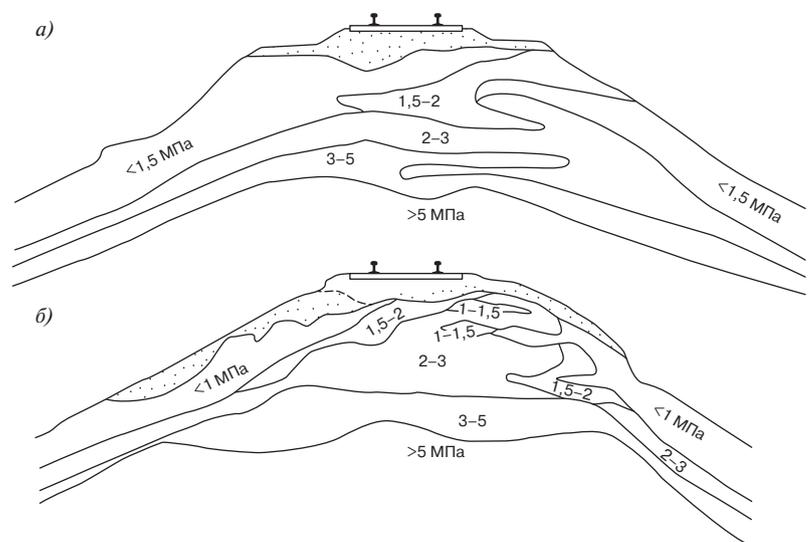


Рис. 1. Поперечные разрезы и поля P_d :
а — на ПК 452+50; б — на ПК 452+29

Fig. 1. Cross sections and fields P_d :
а — on the RM 452+50; б — on the RM 452+29

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

выправочно-подбивочных работ поднимают, например, на треноги и фиксируют в таком положении. С полевой стороны в грунт через 1,5 м забивают стержни указанного выше диаметра на глубину не менее 1,5 м. Из полувагонов для засорителей машины СЗП (МКТ, МНК) отсыпают дренирующий грунт, который уплотняют поверхностными вибраторами. При уширении основной площадки допускается укладывать полосы геосетки на части ширины балластной призмы понизу. Полосы геосетки, предназначенные для уширения (верхняя полоса) и для укладки на откосе, сворачивают в один рулон по короткой стороне.

Расчетная схема по определению устойчивости откоса насыпи при ее усилении приведена на рис. 5.

Коэффициент устойчивости для откоса с покрытием его геосеткой из базальт-волокна, отсыпанным сверху слоем дренирующего грунта и арматурных стержней равен:

$$K' = \left\{ \sum_{i=1}^{i=k} [c_i l_i + \text{tg} \varphi_i (N'_i - G_{in}) + (c_{in} l_{in} + \text{tg} \varphi_{in} N_{in}) \times \right. \\ \left. \times \cos(\theta_i - \beta_i) + \text{tg} \varphi_i R_{ic} + c_i \cdot 10d_c] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\beta_i - \beta_{cp})} \right\} \div \\ \div \sum_{i=1}^{i=k} T'_i \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\beta_i - \beta_{cp})}, \quad (1)$$

где $G_{in} = (c_{in} l_{in} + \text{tg} \varphi_{in} N_{in}) \sin(\theta - \beta_i)$; c_i , φ_i — соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта на линии возможного смещения; N'_i , T'_i — соответственно нормальная и тангенциальная к линии возможного смещения составляющие суммарной силы тяжести i -го блока:

$$N'_i = (Q_i + Q_{in}) \cos \beta_i; T'_i = (Q_i + Q_{in}) \sin \beta_i;$$

c_{in} , φ_{in} — соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения между геосеткой и нижележащим грунтом; N_{in} — нормальная к поверхности откоса составляющая силы тяжести отсыпанного сверху слоя дренирующего грунта: $N_{in} = Q_{in} \cos \theta_i$; β_i , θ_i — углы наклона соответственно линии возможного смещения и поверхности откоса к горизонту в i -м блоке; β_{cp} — угол, равный углу наклона к горизонту линии возможного смещения для среднего блока при нечетном количестве блоков, или средний угол наклона для двух блоков, расположенных в середине, — при четном; d_c — диаметр арматурного стержня; R_{ic} — реакция грунта за арматурным стержнем, $R_{ic} = \frac{T_i \cdot 10d_c l_{ci} \cos \theta}{h_i}$; l_{ci} — длина арматурного стержня; h_i — высота блока в средней части.

Расчет по формуле (1) выполняют в следующем порядке.

Задают параметры c_i и φ_i , определенные для потенциально неустойчивого откоса без покрытия (не

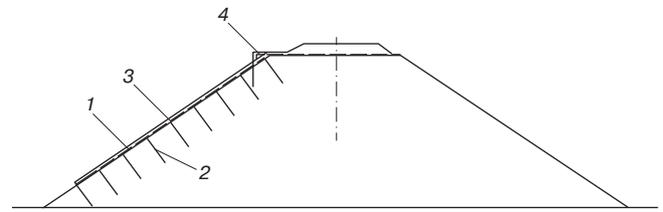


Рис. 3. Поперечный профиль усиливаемой насыпи с потенциально неустойчивым откосом:

1 — геосетка из базальт-волокна; 2 — арматурный стержень; 3 — слой дренирующего грунта; 4 — уширение основной площадки
Fig. 3. Transverse profile of reinforced embankment with a potentially unstable slope:

1 — geogrid of basalt fiber; 2 — rebar; 3 — layer of draining soil; 4 — broadening of the main site

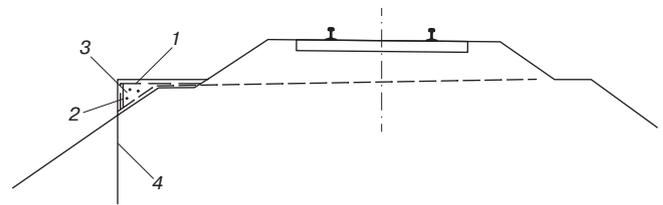


Рис. 4. Схема конструкции уширения заузненных мест земляного полотна:

1 — геосетка из базальт-волокна; 2 — нетканый материал; 3 — дренирующий грунт; 4 — арматурный стержень

Fig. 4. Scheme of design of broadening the narrowed locations of subgrade:

1 — geogrid of basalt fiber; 2 — non-woven material; 3 — draining soil; 4 — rebar

учитывая силу тяжести Q_{in}) из условия предельного равновесия ($K = 1$), в соответствии с требованиями [3].

Принимают толщину слоя дренирующего грунта над покрытием исходя из конструктивных соображений равной 0,2 м. Определяют значения N'_i , T'_i и N_{in} . Находят путем решения обратной задачи по формуле (1) удельное сцепление c_{in} и угол внутреннего трения φ_{in} между покрытием и нижележащим грунтом, минимально необходимые для обеспечения коэффициента устойчивости K' , который принимают равным 1,2.

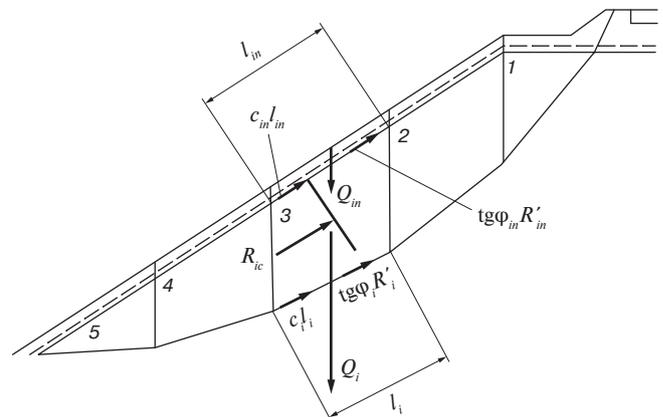


Рис. 5. Схема к расчету устойчивости откоса насыпи при ее усилении геосеткой из базальт-волокна и арматурными стержнями

Fig. 5. Scheme to the calculation of stability of embankment slope with its strengthening with geogrid of basalt fiber and reinforcement bars

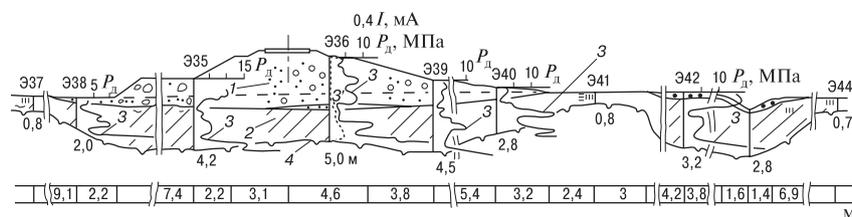


Рис. 6. Инженерно-геологический разрез оседающей насыпи на мари:

1 — дренирующий грунт насыпи; 2 — глинистый грунт основания; 3 — условное динамическое сопротивление P_d ; 3' — сила тока I ; 4 — верхняя граница вечной мерзлоты

Fig. 6. Engineering and geological cross-section settling on embankment in marshy terrains:

1 — draining soil of embankment; 2 — clay soil of base; 3 — conditional dynamic resistance P_d ; 3' — Current rate I ; 4 — the upper limit of permafrost

При этом учитывают, что если на поверхности откоса лежит дренирующий грунт (песок, балластные материалы), то вне зависимости от толщины слоя этого грунта параметры c_{in} и φ_{in} должны быть не больше, чем для данного вида грунта.

Минимальные параметры по длине и глубине расположения покрытия в пределах основной площадки и при необходимости на противоположном откосе определяют исходя из условия, при котором прослойка не будет выдернута под воздействием силы J . Удерживающие от выдергивания силы сцепления и трения учитываются сверху и снизу этой прослойки

$$J \leq 2 \sum_{j=1}^{j=m} (c_{nj} l_{nj} + \text{tg} \varphi_{nj} N_{nj}), \quad (2)$$

где l_{nj} — длина участка защемления j ; c_{nj} , φ_{nj} — соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения между покрытием и грунтом; N_{nj} — нормальная составляющая сила тяжести на участке защемления l_{nj} .

Деформации и стабилизация насыпей на слабом основании. Нестабильные насыпи на слабом основании в наибольшей мере приурочены к районам вечной мерзлоты. Общая протяженность участков железных дорог в этих районах составляет свыше 5000 км. Протяженность участков с осадками и расползанием насыпей превышает 800 км (75% приходится на Дальневосточную железную дорогу, 13% — на Восточно-Сибирскую, 6% — на Северную, остальные 4% и более 1% — соответственно на Забайкальскую и Свердловскую).

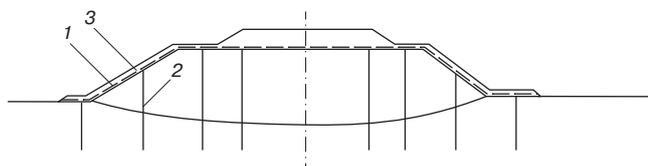


Рис. 7. Поперечный профиль усиливаемой насыпи на болотах, слабом основании и оттаивающих вечномерзлых грунтах:

1 — геосетка из базальтволокна; 2 — арматурный стержень; 3 — слой дренирующего грунта

Fig. 7. Transverse profile of be reinforced embankment in the marshes, weak base and thawing permafrost:

1 — geogrid of basalt fiber; 2 — rebar; 3 — layer of draining soil

После устройства земляного полотна и укладки верхнего строения пути изменяются условия теплообмена. Независимо от толщины слоя минерального грунта, размещенного на поверхности, происходит понижение верхней границы вечной мерзлоты (рис. 6). Это является результатом повышения температуры поверхности в период оттаивания за счет отсутствия затенения и испарения влаги растительностью, а также быстрого оттаивания вследствие низкой влажности грунта насыпи по сравнению с грунтами основания (скрытой теплоты плавления льда). Поверхность дренирующего грунта и обводненная поверхность нагреваются в несколько раз выше, чем в естественных условиях (соответственно от 4 до 16 °С и от 0,4 до 6 °С в дневном цикле).

Таким образом, земляное полотно воздействует на вечномерзлые грунты основания как «горячий» штамп. Верхняя граница вечной мерзлоты (ВГВМ) в пределах зоны с нарушенным температурным режимом опускается до 6–10 м от верха насыпи. Сезоннопромерзающий слой не смыкается с ВГВМ, в земляном полотне и основании формируется талик. Под насыпью температура вечномерзлых грунтов повышается примерно до минус 1 °С.

Такая мерзлотно-грунтовая ситуация характерна для южной части геокриолитозоны в восточных и северных районах страны. На отдельных участках (например, Ноябрьск — Коротчаево Свердловской железной дороги) в насыпи и основании мерзлые грунты не зафиксированы до глубины 15 м.

При понижении ВГВМ вытаивают ледяные включения в грунте. Вследствие вытаивания льда реализуются осадки оттаивающих грунтов, характеризующиеся как начальная просадочность. Затем в течение десятилетий (длительная просадочность) за счет выдавливания талых глинистых грунтов основания, находящихся в текучем — текучепластичном состоянии, происходят осадки и расползания насыпи. Неравномерные осадки достигают 100–300 мм/год.

Наличие установленного при инженерно-геологических обследованиях слабого слоя грунтов под подошвой насыпи и брем [см. значение P_d на рис. 6 (874,

1551, 1840–1842, 2853, 2855, 2907 км БАМ и другие)] является основной предпосылкой — причиной проявления здесь реологических процессов — пластического течения грунта и неравномерных осадок насыпи.

С целью устранения деформаций в соответствии с установленной причиной их проявления требуется поднять мерзлоту в зоне подошвы откосов насыпи или создать механическую преграду выдавливания грунта. Для замораживания оттаивающих грунтов применяют длиномерные термосифоны [4]. В качестве механической преграды целесообразно использовать следующее техническое решение с применением геосетки из базальтоволокна и арматурных стержней (рис. 7).

Геосетку укладывают на основной площадке при глубокой очистке щебня, на откосах и в зоне подошвы откосов. Технология укладки геосетки аналогична изложенной выше для насыпей на прочном основании. Арматурные стержни забивают в грунт вертикально за пределами рельсошпальной решетки через 1–1,5 м, а в продольном направлении — через 1,5 м.

Глубину погружения арматурных стержней назначают по данным ЭДЗ [1]. Эти стержни в нижней части должны располагаться в пределах зоны слабых грунтов основания (см. рис. 6), условное динамическое сопротивление которых $P_d \leq 3$ МПа.

Кроме этого, глубина погружения стержней должна быть не меньше значения h , определяемого из выражения

$$P_{кр} = \left[\frac{\pi(c_p \operatorname{ctg}\varphi + 0,1\rho h)}{\operatorname{ctg}\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} \right] + 0,1\rho h, \quad (3)$$

где $P_{кр}$ — критическая нагрузка на грунт, 10^5 Па ($\text{кгс}/\text{см}^2$), $P_{кр}$ принимают равным $0,8$ $\text{кгс}/\text{см}^2$; c_p — удельное сцепление, 10^5 Па ($\text{кгс}/\text{см}^2$); φ — угол внутреннего трения грунта, рад; ρ — плотность грунта, $\text{г}/\text{см}^3$; h — расстояние от верха балластного слоя до расчетного уровня, м.

Расчетное значение удельного сцепления оттаивающего грунта определяют по формуле

$$c_p = \frac{c_t}{K_c} - Bf_b, \quad (4)$$

где c_t — сцепление талого грунта, 10^5 Па ($\text{кгс}/\text{см}^2$); K_c — коэффициент снижения сцепления грунта при динамическом воздействии после оттаивания; B — коэффициент, учитывающий снижение прочности при

морозном пучении; f_b — относительная деформация глинистого грунта на контакте с дренирующим при пучении, %.

Значения параметров грунта в формулах (3) и (4) принимают в соответствии с [1].

Из двух полученных значений глубины погружения к исполнению принимают большее.

Выводы. Происходящие природно-техногенные процессы в грунтах насыпей на прочном основании приводят к снижению прочностных характеристик грунтов, деформациям построечной основной площадки, сплывам и оползням откосов. С учетом этих процессов разработано инновационное решение, предусматривающее предупреждение деформаций с использованием высокопрочных и неподатливых геосеток из базальтоволокна и арматурных стержней. Создана методика расчета противодеформационной конструкции. Разработан способ усиления насыпей на болотах, слабых основаниях и оттаивающих вечномерзлых грунтах и даны условия применения этого способа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЦПИ-36. Руководство по определению физико-механических характеристик балластных материалов и грунтов земляного полотна: утв. Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 30.01.2004.
2. Дыдышко П. И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2014. 416 с.
3. ЦПИ-28. Технические указания по механизированным способам стабилизации насыпей: утв. Департаментом пути и сооружений МПС России 18.12.2002.
4. ЦПИ-40. Технические указания по устранению осадков насыпей на вечной мерзлоте замораживанием оттаивающих грунтов длиномерными термосифонами: утв. Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 03.07.2007.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

МАТВЕЕВ Евгений Владимирович,
канд. хим. наук, генеральный директор ООО «РЕКСТРОМ-К»

ОЛЬХИНА Светлана Владимировна,
научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 16.07.2015 г., актуализирована: 14.12.2015 г.; 23.03.2016 г., принята к публикации 26.05.2016 г.

Strengthening of unstable embankments using geogrids of basalt fiber and reinforced bars

P. I. DYDYSHKO¹, E. V. MATVEEV², S. V. OL'KHINA¹

¹Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

²Limited Liability Company "REKSTROM-K", Kimry, 171502, Russia

Abstract. The article deals with the problem of stability of embankments on a strong and a weak base. On the main field-site of roadbed composed of clay soils ballast depressions (troughs, beds) are distributed. Existence of weak soils within the verges and sloping parts of embankments is experimentally established. The ongoing natural and man-made processes in the soils of embankments on a solid foundation lead to decrease in the strength characteristics of soils and slumping slope wash-outs. In view of these processes structures to strengthen unstable embankments are designed with geogrids of basalt fiber and rebar.

On unstable sites of embankments the geogrid is laid after deep purification of crushed stone by rolling strips 10 m long on the shorter site and placing them behind a bar chain of ballast cleaner car. Curtailed roll is unrolled then. On a slope through every 1,5 m across and along the tracks rods are clogged, on which a geogrid is put on through cells. Rods immerse up to the depth of 1,5–2 m. On sites with narrower main platform by use of these materials the broadening of the main platform is made. A layer of the draining soil is poured out on a covering. The calculation procedure of anti-deformation design is given.

The article gives an analysis of embankments depression on weak grounds. To the most extent depressions are common in the permafrost. Causes of long-term embankment depression — squeezing ground — are estimated. To eliminate such depressions it is need to raise permafrost level in the area of the slope sole of embankments or create a mechanical barrier. Technical solution using geogrids of basalt fiber and rebar designed as a mechanical barrier. The article sets out the conditions of application of such design.

Keywords: embankments; solid base; weak base; geogrid of basalt fiber; reinforced bars

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-5-289-294>

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

REFERENCES

1. TsPI-36 *Guidelines for determination of physical and mechanical characteristics of ballast materials and road bed soils*. Approved by the Department of tracks and structures of the JSC "Russian Railways" on January 30, 2004 (in Russ.)
2. Dydyshko P. I. *Zemlyanoe polотно zheleznodorozhnogo puti*. Spravochnik: nauch. tr. OAO "VNIIZhT" [Railway roadbed. Reference book. Scientific works of the JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Intext Publ., 2014, 416 p.
3. TsPI-28 *Technical guidance on mechanized methods for stabilizing embankments*. Approved by the Department of tracks and structures Russian of the Ministry of Railways on December 18, 2002. (in Russ.)
4. TsPI-40 *Technical guidelines for the elimination of displacements of embankments on permafrost by freezing thawing soils with long-length thermosyphon*. Approved by the Department of tracks and structures of the JSC "Russian Railways" on June 3, 2007 (in Russ.)

ABOUT THE AUTHORS

DYDYSHKO Petr Ivanovich,

Dr. Sci. (Eng.), Chief researcher, JSC "VNIIZhT"

MATVEEV Evgeniy Vladimirovich,

Cand. Sci.(Chem.), General Director of LLC "REKSTROM-K"

OL'KHINA Svetlana Vladimirovna,

Researcher, JSC "VNIIZhT"

Received 16.07.2015

Revised 14.12.2015, 23.03.2016

Accepted 26.05.2016

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 прове-

дения инженерных 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 предварительного заказа на приобретение книги обращайтесь в редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ», тел. (499) 260-43-20.