



УДК 625.123

Пути повышения гидрологической эффективности осушения земляного полотна железных дорог

Ю. А. Канцибер, В. И. Штыков, А. Б. Пономарев, М. А. Васильева

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Канцибер Ю. А., Штыков В. И., Пономарев А. Б., Васильева М. А. Пути повышения гидрологической эффективности осушения земляного полотна железных дорог // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 3. — С. 411–420. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-411-420

Аннотация

Цель: Гидрологическое обоснование конструкций дренажных систем, эффективно осушающих слабоводопроницаемые грунты земляного полотна. В результате переувлажнения грунтов атмосферными осадками и грунтовыми водами верхнее строение пути подвергается деформации и теряет свою прочность. Для исключения неблагоприятных процессов применяют различные водоотводные устройства и дренажные системы. В современном мире значительно возросли скорость движения и количество грузоперевозок и увеличилась нагрузка на верхнее строение пути. Для снижения рисков к конструкциям дренажных систем необходимо применять гидрологические требования по обеспечению влажностного режима грунтов земляного полотна. **Методы:** Применительно к новым конструкциям используется традиционный воднобалансовый метод оценки эффективности дренажа, учитывающий два основных типа увлажнения: атмосферный и смешанный. Для атмосферного питания приводятся данные по расчетному притоку воды к дренажу в Северо-Западной зоне России. Атмосферное питание может отсутствовать в случае применения геомембран на основной площадке земляного полотна. Расстояние между коллекторами определено по авторской методике, полученной аналитическим методом. **Результаты:** Предложена новая конструкция бесполостной дрены. Доказано, что предложенная конструкция в слабоводопроницаемых грунтах дренирует земляное полотно эффективнее, чем подкуветный дренаж. Приведен пример гидравлического расчета такой дрены, определено расстояние между отводящими коллекторами в заданных условиях. **Практическая значимость:** Благодаря применению бесполостного дренажа влажность грунтов земляного полотна снизится, что приведет к увеличению его несущей способности. Результаты могут быть использованы в слабоводопроницаемых грунтах, распространенность которых достаточно велика. Конструкции, включающие бесполостный дренаж, могут использоваться в комплексе с традиционными.

Ключевые слова: Земляное полотно, слабоводопроницаемые грунты, дренаж, инфильтрация, грунтовые воды, атмосферные осадки, сроки осушения, геотекстильный материал, геомембрана, расчетный приток, водный баланс, расчетная обеспеченность.

Одной из основных причин деформации верхнего строения, земляного полотна и его основания на железных и автомобильных дорогах является снижение несущей способности грунтов в результате их переувлажнения атмосферными осадками и грунтовыми водами. Для ее исключения (или снижения влияния) применяют различные водоотводные и дренажные устройства (лотки, подкуветный дренаж и др.), которые должны отвести поверхностные и грунтовые воды, уменьшить влажность грунтов и тем самым снизить опасность недопустимых деформаций пути [1].

Опыт применения существующих конструкций дренажа в полосах отвода железных дорог показывает, что в слабоводопроницаемых грунтах земляного полотна и его основания при коэффициентах фильтрации менее 0,01 м/сут они не обеспечивают своевременный отвод атмосферных осадков и понижение уровня грунтовых вод (верховодки), допуская продолжительное переувлажнение этих грунтов, так как дальность действия дренажа, как правило, не превышает 3–5 м, а фактическое расстояние от него до пути может составлять порядка 10 метров.

Для повышения эффективности осушения земляного полотна при существенном увеличении скорости движения и грузоперевозок на железных дорогах, а следовательно, и нагрузки на верхнее строение пути, конструкции дренажа должны отвечать определенным гидрологическим требованиям к отводу поверхностного стока, водопримной и водопроводящей способности дренажа [2].

С целью выполнения этих требований, наряду с применяемыми водоотводными и дренажными устройствами в полосах отвода дороги, для усиления конструкций полотна и верхнего строения пути рекомендуется предусматривать устройство под балластной призмой бесполостного дренажа, которое должно отвести избыток воды, уменьшить влажность грунтов и снизить опас-

ность недопустимых деформаций верхнего строения пути [3–8]. Для лучшего регулирования водно-теплового режима промерзающих пучинистых грунтов земляного полотна возможно также устройство под балластом защитного слоя из дренирующего грунта, а на автодорогах, кроме того, гидроизолирующих, капилляропрерывающих и теплоизолирующих прослоек, изготавливаемых из натуральных, геотекстильных или полимерных материалов [9]. Однако, несмотря на достаточную эффективность, устройство защитного слоя при реконструкции железных дорог может быть ограничено условиями участка: типом и свойствами грунтов земляного полотна, высотными отметками пути, прилегающих участков и контактной сети, технологией и стоимостью работ и т. д.

Применяемые с 90-х гг. на железных дорогах геотекстильные материалы с однородными фильтрационными свойствами, уложенные в основание балласта, усиливают несущую способность верхнего строения пути, но не препятствуют переувлажнению грунтов земляного полотна атмосферными осадками и существенно не увеличивают скорость его осушения. Они целесообразны в основном при атмосферном типе увлажнения в слабдеформируемых грунтах земляного полотна.

Использование геотекстильных материалов с гидроизолирующей прослойкой наряду с усилением несущей способности верхнего строения железнодорожного пути позволит повысить гидрологическую эффективность дренажа за счет снижения инфильтрации осадков и переувлажнения грунтов земляного полотна. Поэтому, по сравнению с геотекстильными материалами с однородными фильтрационными свойствами, область применения геотекстильных материалов с гидроизолирующей прослойкой может быть существенно расширена. Наряду с участками дороги, имеющими атмосферный тип увлажнения, геотекстильные материалы с гидроизолирующей прослойкой можно применить и при смешанном типе

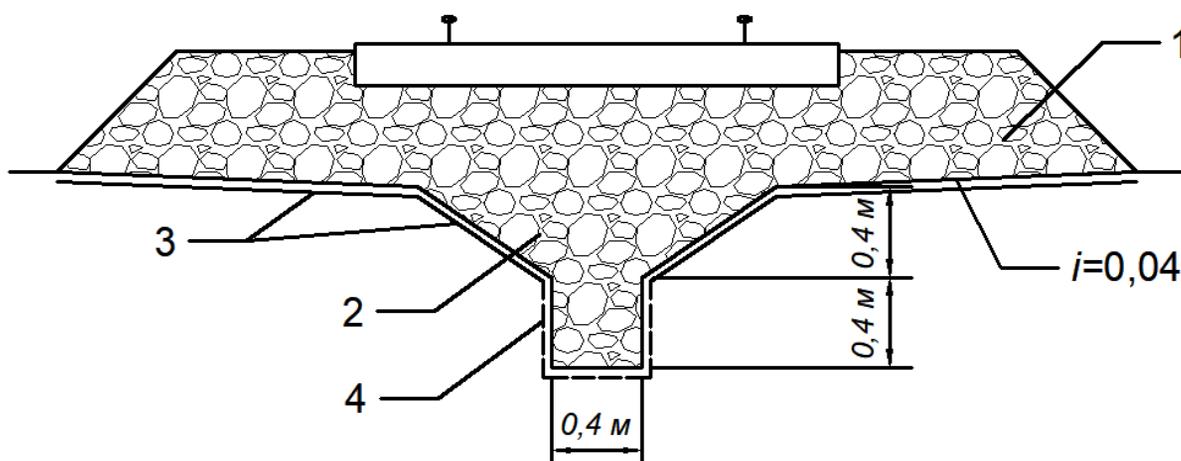


Рис. 1. Поперечное сечение верхнего строения пути с бесполостной дренажной системой:
 1 — балластная призма; 2 — бесполостная дренажная трубка; 3 — водонепроницаемый геоматериал;
 4 — геотекстиль, $i = 0,04$ — уклон поверхности основной площадки земляного полотна

увлажнения (выемка, нулевое место) с залеганием грунтовых вод (верховодки) на «безопасной» глубине (свыше 2 м от бровки земляного полотна), что должно обеспечиваться эффективной работой дренажа в полосах отвода дороги.

На рис. 1 представлена конструкция верхнего строения с бесполостной дренажной системой в основании балластной призмы, при применении которой практически исключается попадание выпадающих осадков в земляное полотно, сложенное слабопроницаемыми грунтами. В этом случае несущая способность грунта земляного полотна не снижается. Выпадающие осадки стекают по поверхности водонепроницаемого геоматериала в бесполостную дренажную трубку и далее отводятся в коллектор. В нижней части бесполостной дренажной трубки по контакту с грунтом проложен геотекстиль. В случае подъема уровня грунтовых вод в земляном полотне при недостаточной эффективности подкюветного дренажа бесполостная дренажная трубка будет препятствовать его дальнейшему подъему.

При проектировании бесполостного дренажа в земляном полотне необходимо произвести комплекс гидрологических, фильтрационных и гидравлических расчетов притока воды к дренажу и его параметров.

Дренажные устройства в любых строительных сооружениях и конструкциях, в том числе и на железных дорогах, рассчитывают на понижение уровня грунтовых вод и отведение атмосферных осадков определенной интенсивности, препятствуя их проникновению в грунты земляного полотна. Расчетный приток воды к ним определяется в зависимости от условий формирования водного режима и допустимой длительности переувлажнения грунтов земляного полотна (t , сут), уровней грунтовых вод и осадков расчетной обеспеченности (p , %).

Деформационные процессы, происходящие в переувлажненных грунтах земляного полотна, зависят от их физико-химических свойств, климатических условий и проявляются неоднозначно в течение года.

Известно, что наибольшее количество и интенсивность осадков на территории РФ наблюдается в летние месяцы года (июль — август), что приводит к формированию во влажные годы избыточного увлажнения и деформаций в слабопроницаемых грунтах земляного полотна, а также максимального притока воды к дренажу. Поэтому для этих грунтов основным расчетным является летний период.

Деформационные процессы морозного пучения и оттаивания пучинистых грунтов происходят в холодный период года. Однако приток воды к дренажу в этот период, как показали расчеты, будет примерно в 1,5–3 раза меньше, чем летом.

По условиям формирования водного режима грунтов земляного полотна необходимо различать два основных типа их увлажнения: атмосферный и смешанный.

При смешанном типе увлажнения часть осадков поступит в грунтовые воды, поднимая их уровень, который должен понижаться дренажом, уложенным в полосах отвода дороги. Одновременно происходит капиллярный подток в зону аэрации к испаряющей поверхности, а зимой к фронту промерзания грунтов. В выемке или нулевом месте дороги в определенных гидрогеологических условиях кроме инфильтрационного будет наблюдаться дополнительный приток грунтовых вод к земляному полотну с прилегающей территории (склоновый) и (или) снизу из напорного водоносного пласта, перекрытого слабоводопроницаемыми грунтами (напорный). Смешанный тип увлажнения наблюдается, как правило, в дренируемых грунтах (пески, супеси, легкие суглинки). Однако грунты земляного полотна и его основания при этом могут быть слабоводопроницаемыми.

При атмосферном увлажнении слабоводопроницаемых грунтов (тяжелые суглинки и глины), грунтовые воды, как правило, отсутствуют или располагаются глубоко, оказывая слабое влияние на водный режим грунтов земляного полотна дороги, проходящей как в насыпи, так и в выемках. Выпадающие осадки расходуются на поверхностный и дренажный сток, испарение, инфильтрацию в балласт, защитный слой и грунты. На их кровле формируется временная верховодка. Таким образом, при атмосферном типе увлажнения земляного полотна дорог и достаточно эффективной работе подкюветного дренажа влияние грунтовых вод на водный режим слабоводо-

проницаемых грунтов зоны аэрации в земляном полотне можно не учитывать.

При устройстве геотекстильных материалов с гидроизолирующей прослойкой инфильтрация в нижележащие грунты земляного полотна будет практически отсутствовать.

Дополнительный приток воды к бесполостному дренажу следует учитывать только при наличии в полосах отвода дренируемых грунтов, напорного питания и отсутствии (неэффективности) дренажа в полосах отвода.

Расчетный приток воды к дренажу (ω , мм/сут) рекомендуется определять детальным или упрощенным способами, основанными на решении уравнений водного баланса в грунтах зоны аэрации и грунтовых вод для расчетного периода осушения [10].

Ориентировочные значения расчетного притока воды к дренажу 2 % обеспеченности приведены в таблице. Для оценки притока 1 % обеспеченности необходимо ввести поправочный коэффициент, примерно равный 1,2; 5 % обеспеченности — 0,8.

Максимальный приток воды к дренажу в слабоводопроницаемых грунтах земляного полотна для ВСМ и особогрузонапряженных дорог (при $t = 1$ сут и $p = 1-2\%$) в Северо-Западной зоне РФ достигает 30–50 мм/сут.

Известно [10, 11], что до 45–60 % суточных осадков выпадает в течение первого часа. Таким образом, максимальная часовая интенсивность притока воды к бесполостному дренажу может достигнуть 20–30 мм/час. В связи с этим дренажный сток, ограничиваемый только водопропускной способностью материала бесполостного дренажа, на очень короткий период значительно увеличивается. Однако именно в этот период происходит самоочищение коллекторов от образовавшегося в его полости наилка.

Удельный расчетный двухсторонний приток воды на 1 погонный метр дренажа, в том числе бесполостного дренажа, будет равен:

Расчетный приток воды к дренажу 2 % обеспеченности в Северо-Западной зоне России ($\cdot 10^{-3}$, м/сут) [10]

Годовая норма осадков, мм	Период осушения, сут		
	1	5–10	30
< 500	20	9–6	4
501–550	25	12–8	6
551–600	30	14–9	7
601–650	35	17–10	8
> 650	40	20–13	9

Примечание. Годовая норма осадков приведена только к показаниям осадкомера без учета других поправок.

$$q^1 = 10^{-3} \cdot \omega \cdot B_d, \text{ м}^2/\text{сут}, \quad (1)$$

где B_d — ширина зоны стока в бесполостную дренаж, м.

При устройстве бесполостного дренажа между рельсами в нулевом месте или выемке дороги ширина зоны стока в слабоводопроницаемых грунтах примерно на 0,5–1 м больше ширины основной площадки земляного полотна, которая для однопутной дороги составляет 6–7 м [1], т. е. $B_d = 6,5–8$ м. Для двухпутной линии $B_d \approx 5,5–6,5$ м.

Отвод воды из бесполостной дрены земляного полотна должен производиться **самотечным** способом с помощью дренажного коллектора в кюветы, лотки и дренаж в полосах отвода дороги.

При невозможности самотечного отвода воды следует предусматривать устройство **механического** водоподъема, включающее специальный бетонный или полимерный колодец, в который вводится дренажный коллектор и устанавливается насос с автоматическим регулятором режима его работы. Высота водоподъема в выемках дороги может достигать 1,5–2 м. Отводная труба от насоса выводится в нагорные канавы, кюветы или лотки, а при их отсутствии — за пределы полосы отвода на поверхность земли, в ложбины, лощины, суходолы и ручьи.

Расстояние между коллекторами (L) можно устанавливать на основе фильтрационных расче-

тов или назначить в пределах 50–200 м с учетом продольного уклона земляного полотна, наличия водопропускных сооружений на участке реконструкции пути и др.

Расчетный расход дренажных вод в устье коллектора (Q) вычисляется по формулам:

$$Q = 0,0116 \cdot q^1 \cdot L, \text{ л/с}, \quad (2)$$

$$Q = 1,16 \cdot 10^{-5} \cdot q^1 \cdot L, \text{ м}^3/\text{с}.$$

При минимальных параметрах коллектора: $D = 0,1$, $I = 0,003$ и $L < 200$ м, которые наиболее часто будут приниматься при проектировании бесполостного дренажа, его пропускная способность ($Q_{\text{пс}}$) изменяется в пределах от 2 до 4 л/с, что в 4–7 раз и более превышает расчетный расход дренажных вод (Q). При больших уклонах и диаметре коллектора $Q_{\text{пс}} > Q$ (на порядок и больше).

Проектирование коллекторов рекомендуется выполнять с учетом требований [12, 13].

Гидравлический расчет бесполостной дрены составного профиля для переходного режима движения фильтрационного потока был нами разработан ранее [14]. Было также показано, что при тех характеристиках бесполостной дрены, которые лучше всего подходят для осушения земляного полотна, именно переходный режим является преобладающим.

Представляет интерес ответ на вопрос: какой же максимальный расход, хотя и продолжительностью не более часа, может наблюдаться в коллекторах при расстояниях между ними до 280 м при двухстороннем впадении в них бесполостных дренажей. Принимаем, что бесполостная дренаж имеет размеры поперечного сечения, представленные на рис. 1, и максимальная глубина воды в ней практически равна полной ее высоте.

Дано: материал заполнителя бесполостной дрены — щебень фракции 20–40 мм; коэффициент фильтрации при ламинарном режиме $K_d = 4,47$ м/с и при турбулентном $K_t = 0,095$ м/с;

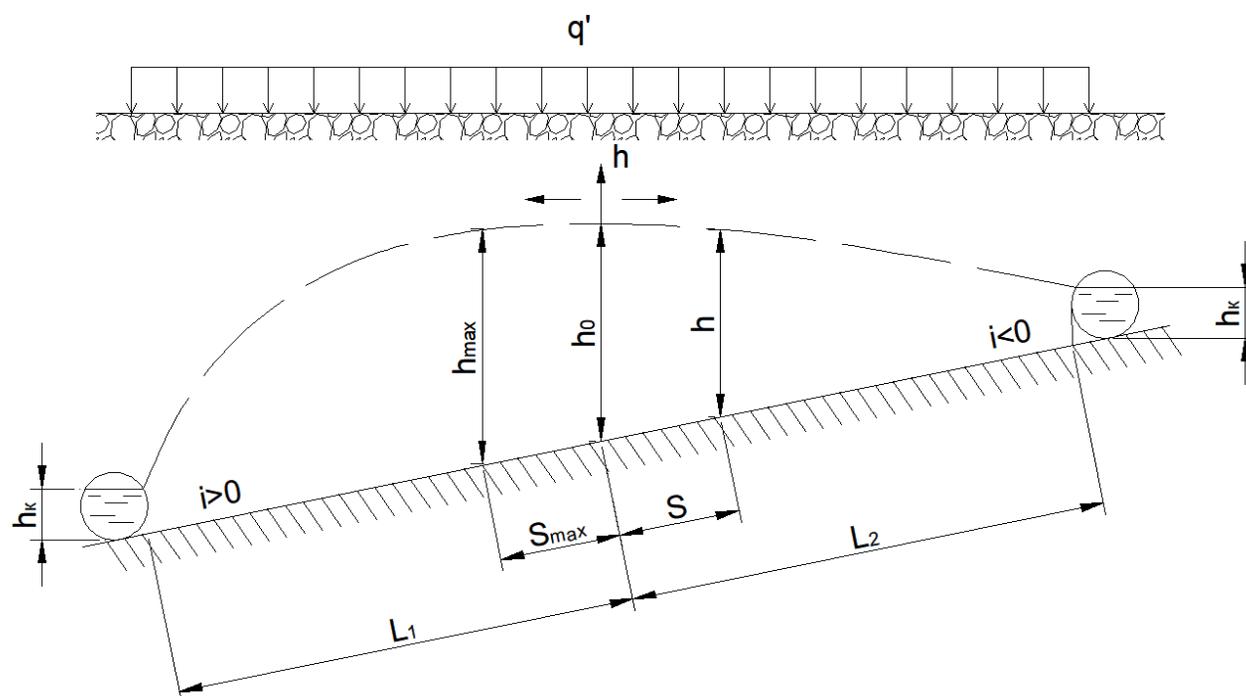


Рис. 2. Расчетная схема движения воды в бесполостной дрене.
Пунктиром показано положение кривой депрессии

удельная приточность q , вычисленная с использованием зависимостей, составляет $0,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$. Принимаем $L_1 = 175 \text{ м}$. Расчетная схема представлена на рис. 2. Определить h_0 и L_2 .

Порядок расчета и соответствующие расчетные зависимости и расшифровка входящих в них величин изложены в [14]. Используя перечисленные выше исходные данные и задаваясь рядом величин h_0 , добиваемся того, чтобы полученное в результате расчетов значение h_0 равнялось задаваемому. Это и будет искомая глубина фильтрационного потока в начале координат (в точке водораздела).

$$\begin{aligned}
 h_0 &= L_1 \sqrt{\frac{(t_k^3 - i \cdot t_k^2 + U_l \cdot t_k + U_t)^{(1-F_1)}}{(t_k - K_1)^{(1-3F_1)}}} \cdot \exp \left[-\frac{M}{\sqrt{N_1}} \left(\frac{p}{2} - \operatorname{arctg} \frac{2t_k + K_1 - i}{\sqrt{N_1}} \right) \right] = \\
 &= 175 \sqrt{\frac{[0,57^3 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,57^2 \cdot 10^{-6} + 0,78 \cdot 10^{-5} \cdot 0,57 \cdot 10^{-3} + 1,338 \cdot 10^{-7}]^{(1-0,227)}}{(0,57 \cdot 10^{-3} + 4,08 \cdot 10^{-3})^{(1-3 \cdot 0,227)}}} \times \\
 &\times \exp \left[\frac{0,108 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{93,43 \cdot 10^{-6}}} \left(\frac{3,14}{2} - \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot 0,57 \cdot 10^{-3} - 4,08 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{93,43 \cdot 10^{-6}}} \right) \right] = 0,73 \text{ м.}
 \end{aligned}$$

Далее, приняв в качестве расчетной величину $h_0 = 0,73 \text{ м}$ и задаваясь значением L_2 , равным, например, 100 м , по формуле при принятых нами ранее остальных исходных и полученных в ходе расчета исходных данных снова вычисляем принятое значение L_2 , как и в предыдущем случае, если принятое значение практически совпадает с полученным по расчету, то оно и принимается в качестве окончательного результата. В рассматриваемом случае $L_2 = 106 \text{ м}$. Следовательно, при тех исходных данных и размерах поперечного

сечения дрены максимальное расстояние между коллекторами равно $L_1 + L_2 = 106 + 175 = 281$ м. Меняя размеры поперечного сечения дрены и допустимую в ней максимальную глубину, мы, соответственно, можем получить в результате расчета меньшее в разы, по сравнению с указанным выше, расстояние между коллекторами.

Выводы

1. Бесполостной дренаж отводит избытки воды в допустимые сроки (период осушения) при выпадении атмосферных осадков расчетной интенсивности превышения (обеспеченности).

2. Для повышения гидрологической эффективности осушения слабоводопроницаемых грунтов земляного полотна железных дорог наряду с применяемыми водоотводными и дренажными устройствами в полосах отвода целесообразно использовать бесполостной дренаж в сочетании с расположением в основании балластной призмы водонепроницаемого геоматериала (геомембраны).

3. Гидравлические расчеты свидетельствуют, что при двухстороннем впадении дрен в коллекторы расстояние между ними может варьировать от десятка метров до 280 м.

4. При минимальных параметрах коллектора ($D = 0,1$ м, $I = 0,003$ и $L < 200$ м), которые наиболее часто будут приниматься при проектировании бесполостного дренажа, его пропускная способность ($Q_{\text{пс}}$) изменяется в пределах от 2 до 4 л/с, что в 4–7 раз и более превышает расчетный расход дренажных вод (Q). При больших уклонах и диаметре коллектора $Q_{\text{пс}} > Q$ (на порядок и больше).

Библиографический список

1. СП 32-104—98. Проектирование земляного полотна железнодорожной колеи 1520 мм. — М.: Госстрой России. 2001.

2. Канцибер Ю. А. Гидрологические требования к режиму осушения грунтов земляного полотна / Ю. А. Кан-

цибер, А. Б. Пономарев, М. А. Васильева // Сборник трудов X Международной конференции по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2018.

3. Штыков В. И. Гидравлический расчет дрен треугольного профиля, усиленных дренажной трубой / В. И. Штыков, А. Б. Пономарев // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2020. — Т. 17. — Вып. 1. — С. 144–156

4. Пономарев А. Б. Влияние систем бесполостного дренажа на несущую способность железнодорожного земляного полотна / А. Б. Пономарев, В. В. Конюшков, В. В. Лушников и др. // Вода и экология: проблемы и решения. — 2019. — № 4(80). С. 47–53

5. Штыков В. И. Гидравлический расчет бесполостных дрен треугольного поперечного сечения при переходном режиме / В. И. Штыков, А. Б. Пономарев // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2019. — Т. 16. — Вып. 3. — С. 523–532

6. Штыков В. И. Гидравлический расчет бесполостного пластового дренажа при грунтовом напорном питании / В. И. Штыков, А. В. Козлова // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. — 2007. — Т. 247. — С. 84–90.

7. Shtykov V. I. The performance of geotextile materials used for filtration and separation in different structures as an important part of geotextiles requirements / V. I. Shtykov, L. S. Blazhko, A. V. Ponomarev // Procedia Engineering. — 2017. — Pp. 247–251.

8. Blazhko L. S. Enhancement of Subgrade's Bearing Capacity in Low Water Permeable (Clay) Soils / L. S. Blazhko, V. I. Shtykov, E. V. Chernyaev // Procedia Engineering. — 2017. — Vol. 189. — Pp. 710–715.

9. Пособие по проектированию методов регулирования водно-теплового режима верхней части земляного полотна (к СНиП 2.05.02—85). — М.: Стройиздат. 1989. — 97 с.

10. Канцибер Ю. А. Расчетная приточность к дренируемым площадям в условиях Северо-Запада России / Ю. А. Канцибер, В. И. Штыков // Сб. Акад. чтения к 200-летию ПГУПС. — СПб.: ПГУПС. 2009. — С. 88–90.

11. Справочник по климату СССР. ч. 1-IV. — Л.: Гидрометеиздат, 1972.

12. Технические указания по устройству дренажей для осушения основной площадки земляного полотна в комплексе с ремонтами пути. — М.: Изд. МГУПС, 1999. — 33 с.

13. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. Спр. пособие к СНиП 2.06-15—85. — М.: Стройиздат, 1991. — 272 с.

14. Shtykov V. Hydraulic Design of a Component Cavity-Free Drains at Transient Water Flow in the Aggregate / V. Shtykov, A. Ponomarev; A. Manakov, A. Edigarian (eds.) // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia — 2021. TransSiberia 2021. Lecture Notes in

Networks and Systems. — Springer, Cham, 2022. — Vol. 402. — DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_36.

Дата поступления: 16.05.2022

Решение о публикации: 23.08.2022

Контактная информация:

КАНЦИБЕР Юрий Алексеевич — канд. техн. наук, младший научный сотрудник; kanziber3@yandex.ru

ШТЫКОВ Валерий Иванович — чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф.; shtykov41@mail.ru

ПОНОМАРЕВ Андрей Борисович — канд. техн. наук, доц.; pol1nom@yandex.ru

ВАСИЛЬЕВА Марина Александровна — ассистент; vasilevama_79@mail.ru

Ways to Improve Hydrological Efficiency of Railway Subgrade Drainage

Yu. A. Kantsiber, V. I. Shtykov, A. B. Ponomarev, M. A. Vasileva

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kantsiber Yu. A., Shtykov V. I., Ponomarev A. B., Vasileva M. A. Ways to Improve Hydrological Efficiency of Railway Subgrade Drainage // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 3, pp. 411–420. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-411-420

Summary

Purpose: Hydrological rationale for drainage system buildings that effectively drain poorly permeable subgrade soils. As a result of watering of soils by rainfalls and groundwaters, track upper structure undergoes deformation and loses its strength. To exclude adverse processes, various drainage devices and drainage systems are used. In the modern world, traffic speed and freight transportation quantity have risen and the load on track superstructure has significantly increased. To reduce risk for drainage system buildings it is necessary to apply hydrological requirements to ensure moisturizing regime of subgrade soils. **Methods:** For new structures, traditional water-balance method for drainage efficiency assessment is used. The method takes into account two main types of moisturizing: atmospheric and mixed ones. For atmospheric watering, we used the data on water estimated inflow to a drainage in Russia North-West zone. Atmospheric nutrition may be absent in the case of geomembrane usage on subgrade major platform. The distance between collectors is determined by the author's methodology obtained by an analytical method. **Results:** The new structure of gravel drain is proposed. It has been proven that the proposed structure in poorly permeable soils drains a subgrade more efficiently than a subditch drainage does. An example of a hydraulic calculation of such a drain is given, the distance between outlet collectors in the set conditions is determined. **Practical significance:** Due to the use of gravel drainage, subgrade soil moisture will decrease that will lead to the subgrade bearing capacity increase. The results can be used in poorly permeable soils which prevalence is quite high. Structures, including gravel drainage, can be applied in combination with traditional ones.

Keywords: Subgrade, poorly permeable soils, drainage, infiltration, rainfalls, groundwaters, timeframes for draining, geotextile material, geomembrane, predicted inflow, water balance, predicted sufficiency.

References

1. SP 32-104-98. *Proektirovanie zemlyanogo polotna zhelezнодорожной колеи 1520 mm* [SP 32-104-98. Design of subgrade for 1520 mm railway track]. Moscow: Gosstroy Rossii Publ. 2001. (In Russian)
2. Kantsiber Yu. A., Ponomarev A. B., Vasil'eva M. A. *Gidrologicheskie trebovaniya k rezhimu osusheniya gruntov zemlyanogo polotna* [Hydrological requirements for the regime of drainage of subgrade soils]. *Sbornik trudov X Mezhdunarodnoy konferentsii po problemam prochnosti materialov i sooruzheniy na transporte* [Proceedings of the X International Conference on the Problems of the Strength of Materials and Structures in Transport]. 2018. Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Imperatora Aleksandra I (Sankt-Peterburg) Publ. (In Russian)
3. Shtykov V. I., Ponomarev A. B. *Gidravlicheskiy raschet dren treugol'nogo profilya, usilennykh drenazhnoy truboy* [Hydraulic calculation of triangular profile drains reinforced with a drainage pipe]. *Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of the St. Petersburg State University of Communications]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2020, vol. 17, I. 1, pp. 144–156. (In Russian)
4. Ponomarev A. B., Konyushkov V. V., Lushnikov V. V., Kirillov V. M. *Vliyanie sistem bespolostnogo drenazha na nesushchuyu sposobnost' zhelezнодорожного zemlyanogo polotna* [Influence of cavityless drainage systems on the bearing capacity of the railway subgrade]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions]. 2019, I. 4(80), pp. 47–53. (In Russian)
5. Shtykov V. I., Ponomarev A. B. *Gidravlicheskiy raschet bespolostnykh dren treugol'nogo poperechnogo secheniya pri perekhodnom rezhime* [Hydraulic calculation of voidless drains of triangular cross-section in transient mode]. *Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of the St. Petersburg State University of Communications]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2019, vol. 16, I. 3, pp. 523–532. (In Russian)
6. Shtykov V. I., Kozlova A. V. *Gidravlicheskiy raschet bespolostnogo plastovogo drenazha pri gruntovom napornom pitanii* [Hydraulic calculation of cavityless reservoir drainage with ground pressure supply]. *Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva* [Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneev]. 2007, ol. 247, pp. 84–90. (In Russian)
7. Shtykov V. I., Blazhko L. S., Ponomarev A. B. *The performance of geotextile materials used for filtration and separation in different structures as an important part of geotextiles requirements*. *Procedia Engineering*. 2017, pp. 247–251.
8. Blazhko L. S., Shtykov V. I., Chernyaev E. V. *Enhancement of Subgrade's Bearing Capacity in Low Water Permeable (Clay) Soils* // *Procedia Engineering*. 2017, vol. 189, pp. 710–715.
9. *Posobie po proektirovaniyu metodov regulirovaniya vodno-teplovogo rezhima verkhney chasti zemlyanogo polotna (k SNiP 2.05.02-85)* [Manual for the design of methods for regulating the water-thermal regime of the upper part of the subgrade (to SNiP 2.05.02-85)]. Moscow: Stroyizdat Publ. 1989. 97 p. (In Russian)
10. Kantsiber Yu. A., Shtykov V. I. *Raschetnaya pritochnost' k dreniruemykh ploshchadym v usloviyakh Severo-Zapada Rossii* [Estimated inflow to drained areas in the conditions of the North-West of Russia]. St. Petersburg: PGUPS Publ. 2009, pp. 88–90. (In Russian)
11. *Spravochnike po klimatu SSSR* [Reference book on the climate of the USSR]. L.: Gidrometeoizdat Publ., 1972. (In Russian)
12. *Tekhnicheskie ukazaniya po ustroystvu drenazhey dlya osusheniya osnovnoy ploshchadki zemlyanogo polotna v komplekse s remontami puti* [Technical instructions for the installation of drainage for draining the main area of the subgrade in combination with track repairs]. Moscow: MGUPS Publ. 1999. 33 p. (In Russian)

13. *Prognozy podtopleniya i raschet drenaznykh sistem na zastraivaemykh i zastroyennykh territoriyakh. Spr. Posobie k SNiP 2.06-15-85* [Forecasts of flooding and calculation of drainage systems in built-up and built-up areas. Ref. Manual for SNiP 2.06-15-85]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1991. 272 p. (In Russian)

14. Shtykov V., Ponomarev A., Manakov A., Edigarian A. Hydraulic Design of a Component Cavity-Free Drains at Transient Water Flow in the Aggregate. International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia — 2021. TransSiberia 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham. 2022, vol. 402. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_36

Received: May 16, 2022

Accepted: August 23, 2022

Author's information:

Yuriy A. KANTSIBER — PhD in Engineering, Junior Researcher; kanziber3@yandex.ru

Valeriy I. SHTYKOV — Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, PhD in Engineering, Professor; shtykov41@mail.ru

Andrei B. PONOMAREV — PhD in Engineering, Associate Professor; pollnom@yandex.ru

Marina A. VASILEVA — Assistant; vasilevama_79@mail.ru