

Бесполостной дренаж: опыт и перспективы применения в транспортном строительстве



Л. С. Блажко,
докт. техн. наук,
профессор, зав. кафедрой
«Железнодорожный путь»,
проректор Петербургского
государственного
университета (ПГУПС)
по учебной работе



В. И. Штыков,
докт. техн. наук, профессор
кафедры «Водоснабжение,
водоотведение
и гидравлика» ПГУПС



Е. В. Черняев,
канд. техн. наук,
ассистент кафедры
«Железнодорожный путь»
ПГУПС

Бесполостной дренаж, как наиболее технологичный, экологичный и экономичный по сравнению с трубчатым, все шире входит в практику строительства в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Особенно эффективно его применение в слабо-водопроницаемых, как правило, пучинистых грунтах, а также в тех случаях, когда требуется совмещение его рабочих функций: эффективное осушение и увеличение несущей способности основания.

Бесполостным называется дренаж, водоотводящая полость в котором заполнена крупнозернистым, хорошо фильтрующим материалом.

По сравнению с трубчатым бесполостной дренаж обладает рядом преимуществ:

- не разрушается от воздействия отрицательных температур;
- сохраняет работоспособность при просадках и пучении грунтов;
- обладает высокой водозахватной способностью;
- благодаря большему поперечному сечению раньше вступает в действие в весенний период;
- долговечен;
- обладает высокой способностью к самоочищению.

Особенно перспективно его применение в слабо-водопроницаемых грунтах при заложении в зону сезонного промерзания.

Начальный опыт

В 1980 г. в Мурманской области в весенний период на опытной дренажной системе, состоящей из совокупности одиночных бесполостных дрен с заполнителем из гранитного щебня, из дрен фиксировался сток от 3 до 15 л/с · га.

В 1987 г. в Ленинградской области с целью натурной проверки осушительного действия различных вариантов конструкций дренажа в тяжелых слабо-водопроницаемых грунтах были заложены бесполостные дренажи в составе двухъярусных дренажных систем. Двухъярусный дренаж — это система горизонтальных дрен, расположенных в два этажа (яруса) и предназначенных для осушения тяжелых (глинистых, суглинистых) почв. Нижний ярус представляет собой систему трубчатых дрен со сплошной или прерывистой засыпкой из хорошо фильтрующего материала. При этом расстояние между трубчатыми дренами нижнего яруса — 30 м, а между бесполостными верхнего яруса — 5 м.

Традиционный трубчатый дренаж в слабо-водопроницаемых грунтах закладывается с расстоянием между дренами 10 м, а сами дренаи присыпаются песком слоем 0,2 м. Об эффективности действия двухъярусных систем свидетельствуют полевые данные о его работе в феврале 1990 г., когда был зафиксирован паводок, вызванный интенсивным снеготаянием. Осредненные и контрольный гидрографы дренажного стока из систем двухъярусного дренажа и представлены на рисунке 1 [1].

Аналогичную картину распределения стока паводковых вод можно наблюдать с высокой вероятностью и в другие годы.



Рис. 1. Осредненные гидрографы дренажного стока на сравниваемых вариантах в период паводка (февраль 1990 г.)

В рассматриваемый период двухъярусный дренаж отвел в 2,93 раза больше воды, чем систематический. В ходе двухлетних наблюдений были зафиксированы следующие максимальные модули дренажного стока: двухъярусный дренаж с бесполостными дренами верхнего яруса – 4,8 л/с • га, традиционный трубчатый дренаж с присыпкой дрен песком – 1,8 л/с • га.

Система дренирования на ответственных сооружениях и опасных объектах

Однако область применения бесполостного дренажа гораздо шире. В частности, во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева накоплен опыт его использования в системах инженерной защиты промышленных территорий и отдельных объектов.

При многовариантных разработках инженерно-технических решений по дренированию специальных гидротехнических сооружений, отдельных объектов и территорий во многих случаях заказчики проектов отдавали предпочтение бесполостному дренажу. Выбор был обусловлен в первую очередь его высокими технико-экономическими показателями и простотой выполнения технологических операций при строительстве.

Во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева разработан ряд оригинальных конструкций систем дренирования, основанных на использовании бесполостных горизонтальных безуклонных и малоуклонных дрен для отбора и транспорта воды из пластового дренажа оснований ответственных сооружений площадью 10–40 тыс. кв. м, верховых и оперяющих участков сопутствующего дренажа в коридорах коммуникаций. Эти системы дренирования были применены:

- при осушении ряда площадок компрессорных станций (КС) газопровода в Торжке и Северо-Европейского газопровода (КС Новогрязовцевская, Новобульварная, Грязовцевская);
- на промплощадке по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области;
- в энергоблоках Белоярской, Ланьонганской (Китай) и Ленинградской АЭС-2. [2].

Рассмотрим проект инженерного обустройства площадки радиационно-опасного объекта — здания для хранения твердых радиоактивных отходов в губе Андреева Мурманской области. Обустройство выполнялось с целью предотвращения транзитного филь-

трационного потока под зданием. Наибольшую опасность представляло одно из сооружений, в подземных бассейнах которого хранились сборки с отработавшим ядерным топливом атомных подводных лодок. В бассейнах образовалась трещина, через которую произошла утечка воды, загрязненной высокоактивным веществом.

Для перехвата транзитного фильтрационного потока с вышележащего лога ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева предложил четыре варианта технических решений, которые были рассмотрены на совещании международной группы, в состав которой входили российские, норвежские и британские эксперты [3]. К производству был принят вариант защитного сооружения в виде большой бесполостной дрены, признанный оптимальным по технической эффективности и стоимости.

Прогнозировались следующие показатели проектной эффективности системы водообустройства: уровень грунтовых вод под зданием должен был снизиться на 90 %, а расходы в радиационно-загрязненном ручье уменьшиться на 80 %.

Система была построена, и летом 1999 г. фактические измерения расходов в ручье показали, что сток из бассейнов уменьшился в 6–7 раз, а уровень грунтовых вод понизился на 3–3,5 м, что полностью подтвердило прогноз на стадии проектирования.

Для дальнейшей эксплуатации системы инженерной защиты был разработан регламент, выполнение требований которого гарантирует ее длительную и эффективную работу по поддержанию в норме радиационно-экологической обстановки в губе Андреева.

Еще один пример — система дренирования основания энергоблоков Ленинградской АЭС-2. Бесполостной дренаж в данном случае предпочли трубчатому исходя из следующих его технических и технологических преимуществ:

- простота конструкции, применение фактически одного вида инертного

материала, отсутствие стыков, и узлов сопряжения;

- возможность создания распластаных сечений дрен без значительного заглубления в основание;

- возможность применения общестроительной техники как при производстве земляных работ, так и при укладке дренажного материала, что позволяет существенно повысить уровень механизации работ по устройству дренажа;

- простота контроля качества выполняемых работ по устройству бесполостных дрен;

- возможность отказа от контроля работы бесполостного дренажа под плитами фундаментов, в местах поворотов, перепада отметок, в узлах сопряжения с транспортирующими бесполостными дренами более высоких порядков, а также в других элементах;

- возможность создания закольцованных систем бесполостных дрен с взаимодублированием функций по отводу дренажного стока;

- возможность совмещения функции бесполостной дрены с функцией подбетонки (использование беспесчаного фильтрующего бетона) — например, при укладке под линейные несущие конструкции.

Обоснование геометрических параметров дрен

В связи с высокой материалоемкостью бесполостных дрен весьма значимо обоснование их рациональных геометрических параметров. На ЛАЭС-2 были применены бесполостные дренажи трапециoidalного поперечного сечения [2]. Расчетных зависимостей для дрен такого поперечного сечения до разработки проекта не было. В данном случае ввиду ограниченности толщины слоя грунта, в пределах которого могли размещаться дренажи, последние заложены без уклона, а для обеспечения устойчивости откосов выполнены с трапециoidalным поперечным сечением (рис. 2).

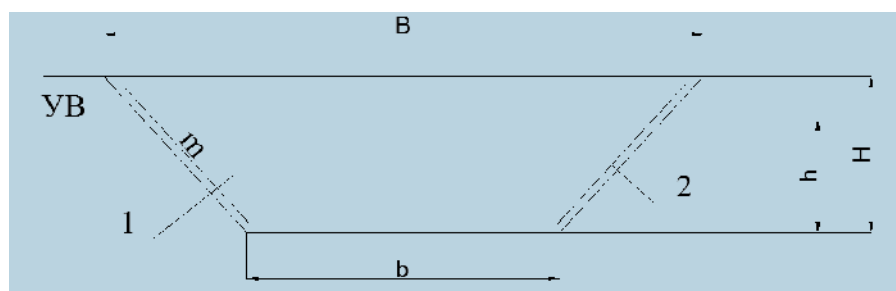


Рис. 2. Бесполостные дренажи трапециoidalного поперечного сечения

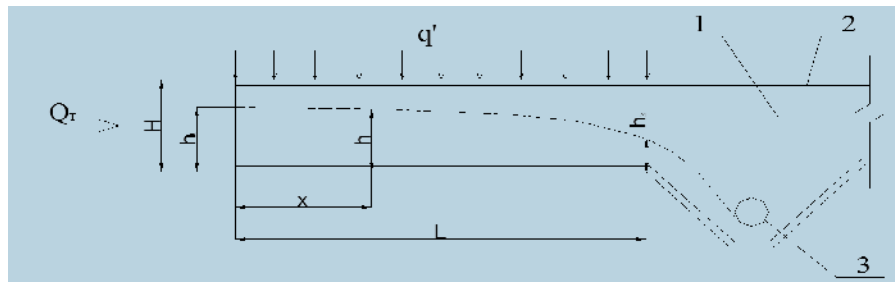


Рис. 3. Расчетная схема бесполостной дрены трапециевидального поперечного сечения

В безуклонных дренах практически на всей их длине за исключением устьевого участка режим фильтрации будет ламинарным. Расчетная схема бесполостной дрены трапециевидального поперечного сечения представлена на рис. 3.

В случае, когда в истоке дрены имеет место сосредоточенный расход (рис. 3), а далее на всей длине дрены в нее равномерно поступает вода с удельной приточностью q' , рассчитанная зависимость принимает следующий вид [там же]:

$$\frac{m \cdot (h_0^3 - h_k^3)}{3} + \frac{b \cdot (h_0^3 - h_k^3)}{2} = \frac{Q_{\text{т}} \cdot L}{K} + \frac{q' \cdot L^2}{2 \cdot K}, \quad (1)$$

где m — коэффициент откоса;
 h_0, h_k — глубина потока в начальном и конечном сечениях;
 b — ширина дрены по дну;
 $Q_{\text{т}}$ — сосредоточенный расход, поступающий в исток дрены;
 L — длина дрены;
 k — коэффициент фильтрации заполнителя бесполостной дрены при ламинарном режиме;
 q' — удельная приточность к дрене.

Для определения глубины потока в конечном сечении h_k путем проведения лабораторных исследований с различными заполнителями дрен и разными уклонами их дна, включая нулевой, были получены графические зависимости $t_k = f(U_d)$, где

$$t_k = h_k / L; U_d = q' / (k \cdot b), \quad (2)$$

где t_k — угловой параметр мощности потока в устье бесполостной дрены.

Также весьма интересно в практическом отношении применение бесполостного дренажа при срочной рекультивации карты № 70 полигона «Красный Бор», где наблюдались масштабные деформации образовавшегося при засыпке геотехнического массива карты (неравномерные осадки и пучение, выползание массы за пределы карты, проявление жидкостно-газовых гейзеров и т. д.). Одной из причин деформаций стало повышение внутреннего давления в объеме засоренных ранее жидких и пастообразных свалочных масс вследствие биологических и химических реакций. Наряду с жесткой изоляцией массива шпунтовой

стенкой была применена комбинированная дренажная конструкция, состоящая из пластового бесполостного дренажа, устроенного на поверхности карты, и кольцевого трубчатого дренажа, служащего для сбора и транзита поверхностного и условно чистого стока. Кроме того, была разработана методика гидравлического расчета бесполостного дренажа при грунтовом напорном питании [5].

Конструкции пути в грунте с низкой несущей способностью

Из практики эксплуатации железных дорог известно, что трудозатраты на содержание пути на участках с земляным полотном из грунтов с низкой несущей способностью и, соответственно, низкой фильтрационной способностью в современных условиях существенно выше, чем на участках с дренирующими грунтами земляного полотна. При увеличении осевых нагрузок от подвижного состава это различие усилится.

Одним из возможных решений данной проблемы при реконструкции участков железнодорожного пути, предназначенных для обращения длиннооставного тяжеловесного подвижного состава и подвижного состава с повышенными осевыми нагрузками до 30 т/ось, может быть усиление зоны основной площадки земляного полотна при одновременном повышении эффективности действия водоотводных конструкций.

На рис. 4 представлен один из возможных вариантов конструкции пути

в слабопроницаемых грунтах при высоком стоянии уровня грунтовых вод.

Усиление основной площадки земляного полотна здесь обеспечивается с помощью конструкции бесполостного дренажа, входящей в состав балластной призмы (защитного слоя) и включающей в себя фильтрующие блоки: два горизонтальных и один вертикальный. Вертикальный фильтрующий блок имеет заглубленную внутрь основной площадки земляного полотна дренаю. Все водопринимающие поверхности блоков защищены от заиливания геотекстильным материалом и могут воспринимать сжимающие напряжения не менее 3 МПа при коэффициенте фильтрации материала блоков до 1000 м/сут. На данную конструкцию получен патент [6].

Такая конструкция обеспечивает более равномерное распределение напряжений на грунты основной площадки земляного полотна на уровне основания блоков, а также позволяет не допустить переувлажнение грунтов земляного полотна из-за отвода атмосферных осадков от основной площадки земляного полотна.

В отдельных случаях для усиления земляного полотна будет достаточно применить бесполостной дренаж, располагая дрены либо между рельсами, либо под каждым из рельсов. Расположение бесполостных дрен вдоль рельсовых нитей станет в данном случае одновременно и противопучинной мерой.

Осушение в оползневых районах

В Австрии и Швейцарии накоплен положительный опыт применения бесполостного дренажа для осушения в оползневых районах (например, в Северных Альпах), и его вполне можно использовать в аналогичных условиях при строительстве или реконструкции железнодорожных путей.

В качестве заполнителя для фильтрующего бетона могут быть использованы

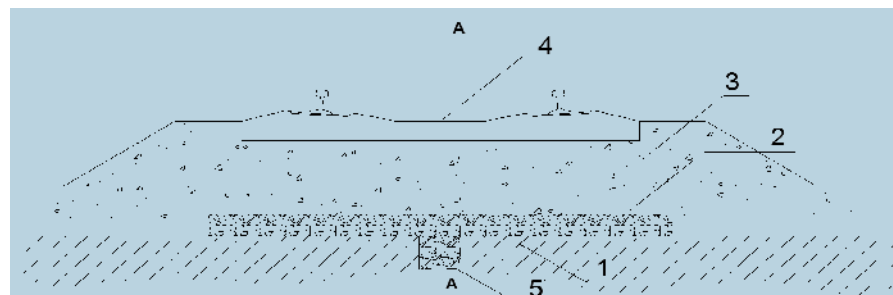


Рис. 4. Конструкции пути в слабопроницаемых грунтах при высоком стоянии уровня грунтовых вод:
 1 — грунты земляного полотна; 2, 5 — блоки бесполостной дрены; 3 — балластная призма;
 4 — рельсошпальная решетка.

естественный гравий и щебень, полученные путем дробления горной массы.

Общие требования к рекомендуемым материалам заполнителя изложены в ГОСТ 8267-93. Прежде всего требуется, чтобы морозостойкость щебня и гравия, характеризующаяся таким числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потери в процентной доле по массе щебня и гравия не превышают установленных значений, должна соответствовать марке морозостойкости F-150. Щебень и гравий, соответствующие этой марке, выдерживают 150 циклов замораживания — оттаивания при потере массы не более 5 %. Содержание пылевидных и глинистых частиц размером менее 0,05 мм и глины в комках в щебне и гравии не допускается. Помимо предусмотренных стандартами к заполнителю фильтрующего бетона предъявляются дополнительные требования (см. табл.).

От величины коэффициента пористости бетона зависят размеры горизонтальных и вертикальных фильтрующих блоков и, в частности, их толщина. Предварительные расчеты показали, что величина коэффициента фильтрации пористого бетона должна быть около 1000 м/сут. На практике максимальная величина градиента напора $J = 1,0$ может наблюдаться в вертикальном фильтрующем блоке, а в горизонтальных фильтрующих блоках она будет всегда меньше единицы.

Определим, какой режим фильтрации возможен в таком бетоне.

Ламинарная фильтрация в крупнопористом материале имеет место, если соблюдать следующее условие [7]:

$$R_e \leq R_{el}, \quad (3)$$

$$R_e = \frac{u \cdot d_u}{\nu}, \quad (4)$$

где R_e — число Рейнольдса для рассматриваемого фильтрационного потока;
 u — скорость фильтрации в рассматриваемом живом сечении, см/с;
 d_u — расчетное значение диаметра фильтрационного хода, см;
 ν — кинематический коэффициент вязкости, см²/с.

Величину d_u вычислим по формуле для определения коэффициентов фильтрации несвязных грунтов при ламинарном режиме фильтрации [там же]:

$$d_u = \sqrt{\frac{8 \cdot \pi^2 \cdot \nu \cdot K_d}{n \cdot g}}, \quad (5)$$

где K_d — коэффициент фильтрации пористого бетона при ламинарном режиме, см/с;
 n — пористость бетона, в долях;
 g — ускорение свободного падения, см/с².

При рекомендуемом водоцементном отношении В/Ц, равном 0,4, эффектив-

ная пористость бетона в среднем равна 0,23. При $\nu = 0,013$ см²/с, $g = 981$ см/с² и $K_d = 1000$ м/сут = 1,16 см/с, получаем:

$$d_u = \sqrt{\frac{8 \cdot 3,14^2 \cdot 0,013 \cdot 1,16}{0,23 \cdot 981}} = 0,07 \text{ см.}$$

Примем среднюю величину градиента напора в горизонтальных фильтрующих блоках равной 0,13, а в вертикальных — равной максимально возможной величине 1,0. Тогда скорости фильтрации будут соответственно равны:

- в горизонтально фильтрующих блоках $U = K \cdot J = 1,16 \cdot 0,13 = 0,15$ см/с;
- в вертикальных $U = K \cdot J = 1,16 \cdot 1 = 1,16$ см/с.

Число Рейнольдса в горизонтальных фильтрующих блоках

$$R_e = \frac{0,15 \cdot 0,07}{0,013} = 0,81,$$

а в вертикальных $R_e = \frac{1,16 \cdot 0,07}{0,013} = 6,25$

По формуле (6) вычислим критическое число Рейнольдса [там же]:

$$R_{e\text{кр}} = 8,6n \sqrt{\frac{d_{17}}{d_u}}, \quad (6)$$

где d_{17} — диаметр частиц в заполнителе бетона, меньше которых в его составе содержится 17 %, см.

В щебне фракции 5–10 мм (рекомендуемая крупность) $d_{17} \approx 0,6$ см; $d_u = 0,07$ см; $n = 0,23$. В этом случае

$$R_{e\text{кр}} = 8,6 \cdot 0,23 \cdot \sqrt{\frac{0,60}{0,07}} = 5,8.$$

Таким образом, в рассматриваемой нами конструкции балластной призмы с включением блоков бесполостного дренажа будет иметь место практически только ламинарный режим фильтрации. При этом лабораторные исследования и гидравлические расчеты существенно упрощаются.

Укрепление откосов

Плиты из пористого бетона могут служить для укрепления неустойчивых откосов. Например, в Белоруссии такие плиты небольших размеров были успешно применены для крепления откосов осушительных канав, под стыками бетонных креплений напорных откосов и т. д.

Однако в случае использования бесполостного дренажа и фильтрующих бло-

ков в конструкции пути в связи с вибрационными нагрузками от подвижного состава возникают дополнительные требования как к материалу блоков, так и к геотекстильным материалам [8]. Становится необходимым проведение лабораторных и натурных дополнительных исследований с целью разработки нормативной документации, определяющей требования как к материалу дренажных блоков, работающих в конструкции пути, так и к их параметрам.

Внедрение бесполостного дренажа, выполненного из материала с заявленными выше характеристиками, в конструкцию железнодорожного пути позволило бы существенно повысить степень ее надежности в целом. ■

Литература

1. Штыков В. И. Бесполостный дренаж, его расчет и перспективы применения // Проблемы и перспективы развития мелиорации водного и лесного хозяйства. Сб. науч. трудов под ред. Г. А. Романенко. М., 2004. С. 104–114.
2. Штыков В. И., Булганин Е. В. Гидравлический расчет безуклонных бесполостных дренажей трапециевидного поперечного сечения // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2008. Т. 252. С. 35–39.
3. Гордиенко С. Г., Штыков В. И. Опыт и перспективы применения бесполостного дренажа в системах инженерной защиты территорий и объектов // Материалы VI Междунар. конф. «Акватерра-2003». СПб., 2003. С. 182–184.
4. Штыков В. И., Гордиенко С. Г. Бесполостный дренаж: гидравлическое обоснование, расчет и эффективность действия. СПб.: Изд-во ГНЦ «СевНИИГиМ», 1997. 224 с.
5. Штыков В. И., Козлова А. В. Гидравлический расчет бесполостного пластового дренажа при грунтовом напорном питании // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2007. Т. 247. С. 84–90.
6. Блажко Л. С., Штыков В. И., Черняев Е. В. Патент на полезную модель № 118640 «Железнодорожный путь».
7. Применение модели криволинейных фильтрационных ходов к определению фильтрационных свойств зернистых материалов // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1988. Т. 209. С. 75–79.
8. Блажко Л. С., Штыков В. И. Работа геотекстиля в конструкции верхнего строения пути // Наука и транспорт. 2009. С. 60–64.

Таблица 1. Дополнительные требования к заполнителю бетона

Характеристики	Оптимальные значения
Предел прочности при сжатии породы	Не менее 6 величин марки бетона
Показатель угловатости зерен	Не более 10
Адгезионная характеристика по толщине слоя цементного теста, мм	0,10–0,15
Модуль упругости материала заполнителя	$(100–300) \cdot 10^3$