



УДК 625.1; 628.2

Влияние формы поперечного сечения бесполостной дрены на эффективность осушения

В. И. Штыков¹, А. Б. Пономарев¹, Ю. Г. Янко²

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

² Агрофизический научно-исследовательский институт, Россия, 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

Для цитирования: Штыков В. И., Пономарев А. Б., Янко Ю. Г. Влияние формы поперечного сечения бесполостной дрены на эффективность осушения // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 2. С. 391–401. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-391-401

Аннотация

Цель: в связи с наблюдающейся тенденцией снижения континентальности климата в условиях Северо-Запада России в ближайшие 30–50 лет приточность к системам водоотведения на железнодорожном транспорте вырастет в среднем на 10–20%, однако уже в настоящее время в слабоводопроницаемых грунтах в отдельные периоды наблюдается переувлажнение. Как показывают расчеты, эффективность осушения земляного полотна может быть существенно увеличена, если применить бесполостный дренаж. Бесполостным дренажам можно придать разную форму поперечного сечения, и представляет практический интерес ответ на вопрос: а как при прочих равных условиях это отразится на эффективности действия дренажа? **Методы:** на несущую способность грунта земляного полотна оказывает влияние его влажностный режим. Увеличение же глубины положения грунтовых вод в земляном полотне, считая от основания шпал, будет способствовать и увеличению несущей способности земляного полотна. Приведен пример гидравлического расчета бесполостных дренажей разной формы поперечного сечения. **Результаты:** установлено, что из трех разных форм поперечного сечения (трапецидального, составного и треугольного) наибольшей эффективностью водоотведения обладает бесполостная дренажная труба, имеющая трапецидальную форму поперечного сечения. В конце статьи для этой же формы поперечного сечения выполнен геотехнический расчет осадков и напряжений в мягкопластичном суглинке. **Практическая значимость:** получено обоснование наиболее эффективной формы поперечного сечения бесполостного дренажа для осушения земляного полотна из слабоводопроницаемых грунтов.

Ключевые слова: бесполостный дренаж, гидравлический расчет, дренажная система, мелиоративный канал

Введение

Широкое применение бесполостных дренажей в различных отраслях промышленности [1–5] — в промышленном, гражданском, гидротехническом и дорожном строительстве, а также в сельском хозяйстве — обусловлено рядом их преимуществ по сравнению с трубчатым дренажом. Бесполостный дренаж не разрушается под воздействием отрицательных температур, со-

храняет работоспособность при просадках, обладает высокой водозахватной способностью, долговечен. При осушении слабоводопроницаемых грунтов или необходимости заложения в зону сезонного промерзания он всегда предпочтительнее трубчатого.

Бесполостный дренаж в сегодняшнем понимании в железнодорожном транспорте начал применяться в 1934 году [6]. В районах

с суровыми климатическими условиями в настоящее время он применяется в качестве фильтрующих насыпей [7]. Однако на Северо-Западе сейчас наблюдается и в ближайшие 30–50 лет продолжится снижение континентальности климата, что приведет к увеличению приточности к дренажу на 10–20%. В этих условиях конструкции дренажа, применяемые в железнодорожном транспорте в слабоводопроницаемых грунтах с коэффициентами фильтрации не более 0,01 м/сут, не обеспечат своевременного снижения уровней воды в земляном полотне. Как показывают сравнительные расчеты, эффективность осушения может быть существенно увеличена, если непосредственно под балластной призмой расположить бесполостные дрены [8]. При этом одновременно бесполостная дрена будет способствовать увеличению несущей способности земляного полотна [9].

Объекты и методы

В общем случае для призматического поперечного сечения бесполостных дрен уравнение движения воды имеет следующий вид:

$$\frac{dh}{ds} = i \frac{q \cdot s}{K_1 \cdot \omega} - \frac{q^2 \cdot s^2}{K_t^2 \cdot \omega^2}, \quad (1)$$

где q — распределенный приток к дрене;

s — координата живого сечения;

ω — площадь живого сечения фильтрационного потока;

h — глубина воды от нижней точки сечения, м;

K_1, K_t — коэффициенты фильтрации заполнителя бесполостной дрены соответственно при ламинарном и турбулентном режимах;

i — продольный уклон дрены.

Уравнение (1) для любого режима течения воды в бесполостной дрине, включая переходный, решено было только для случая прямоугольного поперечного сечения. Однако более привлекательным является профиль, поперечное сечение которого сверху расширяется, что будет способствовать выравниванию напряжений в земляном полотне под балластной призмой.

Перепишем уравнение (1) для случая с двухсторонним впадением в коллектор (рис. 1).

Поперечное сечение дрены примем трапециевидальным. Уравнение (1) для трапецеи-

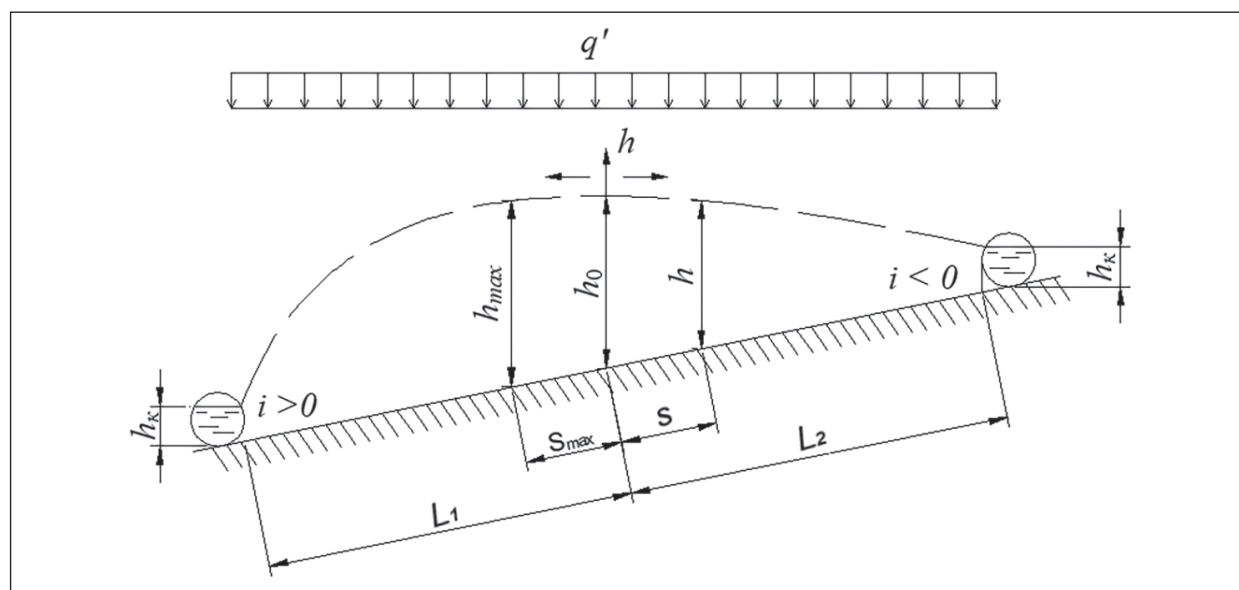


Рис. 1. Расчетная схема бесполостной дрены

дальнего поперечного сечения примет следующий вид:

$$\frac{dh}{ds} = \pm i - \frac{q}{K_l \cdot (b + mh)h} s - \frac{q^2}{K_l^2 \cdot (b + mh)^2 h^2} s^2, \quad (2)$$

где b — ширина бесполостной дрены по дну;
 m — коэффициент откоса.

Уравнение (2) не сводится ни к одному обыкновенному дифференциальному уравнению. Чтобы свести его к решению для прямоугольного сечения, ранее было предложено действительную трапецидальную форму заменить на эквивалентную по площади прямоугольную. Было доказано, что для такого приближенного способа результаты расчета пренебрежимо мало отличаются от точного решения [9].

После замены сечения на прямоугольное уравнение (2) приобретает вид:

$$\frac{dh}{ds} = \pm i - \frac{q}{K_l \cdot b_e \cdot h} s - \frac{q^2}{K_l^2 \cdot b_e^2 \cdot h^2} s^2, \quad (3)$$

где b_e — эквивалентная ширина дрены прямоугольного сечения;

$b_e = b + \beta \cdot m \cdot h_0$, h_0 — искомая глубина в начале координатных осей h и s ;

β — коэффициент, учитывающий изменение глубины фильтрационного потока вдоль бесполостной дрены.

При этом для β было получено следующее выражение:

$$\beta = \frac{2(h_0^2 + h_0 \cdot h_k + h_k^2)}{3 \cdot h_0 (h_0 + h_k)}, \quad (4)$$

где h_k — глубина фильтрационного потока в устье бесполостной дрены.

Для прямоугольной дрены экспериментально было получено, что без подпора глубина в устье h_k равна $0,125h_0$ [5]. Тогда в (4) после подстановки получим $\beta = 0,68$.

Выведем формулу для определения коэффициента β для составного профиля (рис. 2).

Воспользуемся известными точными решениями для случая бесполостной безуклонной дрены составного сечения, которое может быть заменено на прямоугольное, как оговорено выше.

В обоих случаях найдем положение середины между коллекторами, в которые впадают эти дрены по известным зависимостям. Для составного профиля:

$$\frac{L}{2} = \sqrt{\frac{K_n}{3q} (h_0 - a) [3b(h_0 - a) + 2m(h_0 - a)^2]}. \quad (5)$$

Для прямоугольного поперечного сечения эквивалентной ширины:

$$\frac{L}{2} = \sqrt{\frac{K_n (h_0^2 - a^2) \cdot b_e}{q}}. \quad (6)$$

Глубина фильтрационного потока h_0 в обоих случаях одинакова.

Исходя из равенства площадей (рис. 2),

$$b_e h_0 = b \cdot h_0 + m(h_0 - a)^2, \quad (7)$$

получаем:

$$b_e = b + \beta \cdot \frac{m(h_0 - a)^2}{h_0}. \quad (8)$$

Из равенства правых частей уравнений (5) и (6) для b_e получим следующее выражение:

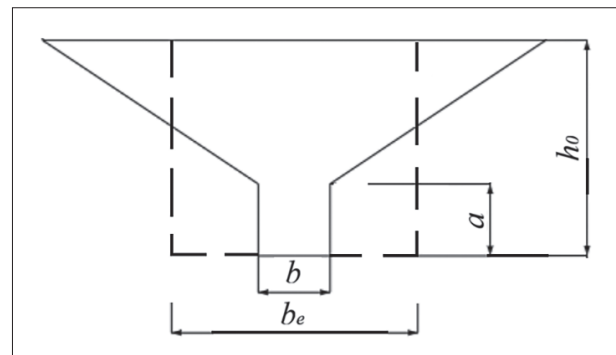


Рис. 2. Составной профиль бесполостной дрены

$$b_e = b + \beta \cdot \frac{2m(h_0 - a)^2}{3(h_0 + a)}, \quad (9)$$

откуда

$$\beta = \frac{2h_0}{3(h_0 + a)}. \quad (10)$$

Из зависимости (10) следует, что в случае составного сечения на величину коэффициента β влияет высота прямоугольной части сечения, равная a .

Сопоставим бесполостные дрены исследованных нами форм поперечного сечения по их способности понижать уровень воды в земляном полотне. Сечение с глубиной h_0 (рис. 1) находится там, где скорость движения воды в заполнителе дрены равна нулю. От этого сечения вода течет в противоположные стороны, вверх и вниз по уклону. При одинаковой отметке заложения дна дрен понижение уровня воды тем больше, чем меньше в указанной точке будет величина h_0 (рис. 1). Дрены заложены с одинаковым уклоном, имеют равные длины кривой депрессии вниз по уклону (L_1) и заполнены одинаковым щебнем. Поперечные сечения дрен показаны на рис. 3.

Материал заполнителя бесполостной дрены — щебень фракции 5–20 мм: $d_{17} = 1,2$ см (определяется по кривой гранулометрического

состава); $\eta = 1,9$ — коэффициент неоднородности материала щебня; $\psi = 1,68$ — коэффициент формы частиц; $C_0 = 78$ см^{0,5}/с — коэффициент Шези; $\nu = 0,0131$ см²/с — коэффициент кинематической вязкости воды, принят для температуры 10 °С.

Результаты исследований

Приведем гидравлический расчет по определению глубины воды в бесполостной дрине составного профиля в точке водораздела (рис. 1), которая обозначена через h_0 . Для двух других случаев в табличной форме представим результаты расчета и сравним полученные значения.

В рассматриваемом случае b_e вычисляется по формуле (8). Ход расчета изложен ниже.

1. Рассчитаем величину расчетного диаметра фильтрационного хода d_u :

$$\begin{aligned} d_u &= 0,57 \sqrt[6]{\eta} \cdot \frac{n}{1-n} \cdot \frac{d_{17}}{\psi} = \\ &= 0,57 \cdot \sqrt[6]{1,9} \cdot \frac{0,48}{1-0,48} \cdot \frac{1,2}{1,68} = 0,42 \text{ см,} \end{aligned}$$

где n — пористость щебня.

2. Вычисляем коэффициенты фильтрации при ламинарном и турбулентном режимах.

При ламинарном режиме:

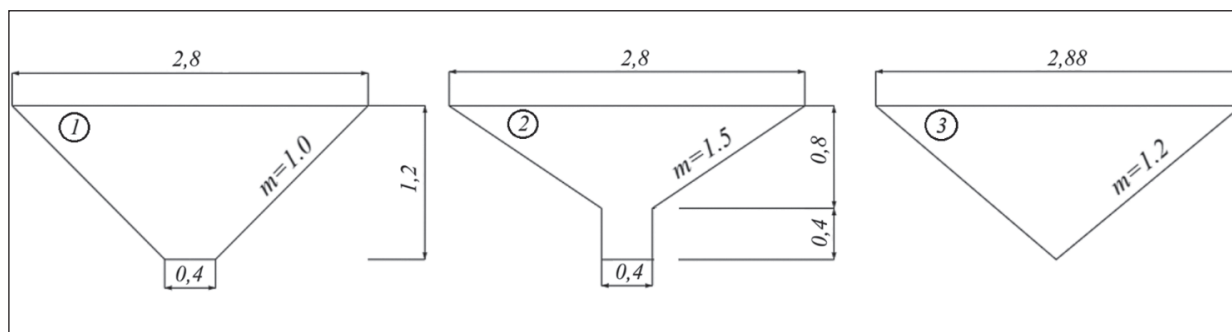


Рис. 3. Формы поперечных сечений бесполостной дрены: 1 — трапецидальное; 2 — составное; 3 — треугольное

$$K_l = \frac{n \cdot g \cdot d_u^2}{8\pi^2 \cdot \nu} =$$

$$= \frac{0,48 \cdot 9,81 \cdot 0,0042^2}{8 \cdot 3,14^2 \cdot 0,0131 \cdot 10^{-4}} = 0,803 \text{ м/с},$$

при турбулентном режиме:

$$K_t = \frac{n \cdot C_0}{\pi^{3/2}} \sqrt{2d_u} =$$

$$= \frac{0,48 \cdot 78}{3,14^{3/2}} \sqrt{2 \cdot 0,42} = 6,17 \text{ см/с}$$

или 0,0617 м/с.

3. Для определения h_0 имеем следующую расчетную зависимость [10]:

$$h_0 = L_1 \sqrt{\frac{(t_k^3 - i \cdot t_k^2 + U_l \cdot t_k + U_t)^{(1-\Phi_1)}}{(t_k - K_1)^{(1-3\Phi_1)}}}.$$

Значение h_0 находится методом подбора, поскольку ряд величин, входящих в формулу (11), зависят от этого значения. Примем $h_0 = 0,85$ м. Длина L_1 составит по проекту дренажа 60 м.

Последовательность расчета:

$$t_k = \frac{h_k}{L_1} = \frac{0,125h_0}{L_1} = \frac{0,125 \cdot 0,85}{60} = 1,77 \cdot 10^{-3}, \quad \beta = \frac{2h_0}{3(h_0 + a)} = \frac{2 \cdot 0,85}{3(0,83 + 0,4)} = 0,45,$$

$$b_e = b + \frac{m \cdot \beta (h_0 - a)^2}{h_0} = 0,4 + \frac{1,5 \cdot 0,45 (0,85 - 0,4)^2}{0,85} = 0,56 \text{ м},$$

$$U_l = \frac{q}{K_l \cdot b_e} = \frac{0,5 \cdot 10^{-4}}{0,803 \cdot 0,56} = 1,12 \cdot 10^{-4},$$

$$U_t = \frac{q^2}{K_t^2 \cdot b_e^2} = \frac{0,5^2 \cdot 10^{-8}}{0,0617^2 \cdot 0,56^2} = 2,1 \cdot 10^{-6},$$

$$r = \sqrt{\frac{U_l}{3} - \left(\frac{i}{3}\right)^2} = \sqrt{\frac{1,12 \cdot 10^{-4}}{3} - \left(\frac{0,003}{3}\right)^2} = 0,602 \cdot 10^{-2},$$

$$P = -\left(\frac{i}{3}\right)^3 + \frac{i \cdot U_l}{6} + \frac{U_t}{2} = -\left(\frac{0,003}{3}\right)^3 + \frac{0,003 \cdot 1,12 \cdot 10^{-4}}{6} + \frac{2,1 \cdot 10^{-6}}{2} = 1,105 \cdot 10^{-6},$$

$$K_1 = \frac{i}{3} - 2r \cdot sh \left(\frac{1}{3} Arsh \frac{P}{r^3} \right) = \frac{0,003}{3} - 2 \cdot 0,602 \cdot 10^{-2} \cdot sh \left[\frac{1}{3} Arsh \frac{1,105 \cdot 10^{-6}}{(0,602 \cdot 10^{-2})^3} \right] = -0,929 \cdot 10^{-2},$$

$$\Phi_1 = \frac{K_1^2}{3K_1^2 - 2K_1 \cdot i + U_l} = \frac{(-0,929 \cdot 10^{-2})^2}{3(-0,929 \cdot 10^{-2})^2 + 2 \cdot 0,929 \cdot 10^{-2} \cdot 0,003 + 1,12 \cdot 10^{-4}} = 0,202,$$

$$\begin{aligned}
M &= (1 - \Phi_1) \cdot \frac{U_l}{K_1} + (1 - 3\Phi_1) \cdot \frac{U_t}{K_1^2} = \frac{(1 - 0,202) \cdot 1,12 \cdot 10^{-4}}{-0,929 \cdot 10^{-2}} + \\
&+ (1 - 3 \cdot 0,202) \cdot \frac{2,2 \cdot 10^{-6}}{(-0,929 \cdot 10^{-2})^2} = -0,003 \cdot 10^{-2}, \\
N_1 &= 4(K_1^2 + U_l) - (K_1 + i)^2 = 4 \left[(-0,929 \cdot 10^{-2})^2 + 1,12 \cdot 10^{-4} \right] + \\
&+ (-0,929 \cdot 10^{-2} + 0,3 \cdot 10^{-2})^2 = 7,536 \cdot 10^{-4}, \\
h_0 &= L_1 \sqrt{\frac{(t_k^3 - i \cdot t_k^2 + U_l \cdot t_k + U_t)^{(1-\Phi_1)}}{(t_k - K_1)^{(1-3\Phi_1)}}} \cdot \exp \left[-\frac{M}{\sqrt{N_1}} \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{2t_k + K_1 - i}{\sqrt{N_1}} \right) \right] = \\
&= 60 \sqrt{\frac{[1,77^3 \cdot 10^{-9} - 0,3 \cdot 10^{-2} \cdot 1,77^2 \cdot 10^{-6} + 1,12 \cdot 10^{-4} \cdot 1,77 \cdot 10^{-3} + 2,1 \cdot 10^{-6}]^{(1-0,202)}}{(1,77 \cdot 10^{-3} + 0,929 \cdot 10^{-2})^{(1-3 \cdot 0,202)}}} \times \\
&\times \exp \left[\frac{0,003 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{7,536 \cdot 10^{-4}}} \left(\frac{3,14}{2} - \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot 1,77 \cdot 10^{-3} - 0,929 \cdot 10^{-2} - 0,3 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{7,536 \cdot 10^{-4}}} \right) \right] = 0,83 \text{ м.}
\end{aligned}$$

За итоговое значение примем $h_0 = 0,84$ м.

Несущая способность грунтов земляного полотна с увеличением их влажности уменьшается. Чем на большую величину будет снижен уровень воды в бесполостной дрене, считая от основания балластной призмы, тем более благоприятные условия складываются для напряженного состояния в осушенной части земляного полотна. В табл. 1 приведены результаты гидравлического расчета бесполостных дрен, имеющих одну и ту же длину $L_1 = 60$ м и выполненных из одного и того же

материала щебня фракции 5–20 мм, но имеющих разную форму поперечного сечения. Дрены имеют одну и ту же постоянную по длине высоту, так как они имеют двойное назначение: наряду со снижением уровня воды в земляном полотне они способствуют более благоприятному распределению напряжений в зоне их расположения.

Из данных табл. 1 следует, что трапециевидальное сечение более эффективно снижает уровень воды, в том числе благодаря большей площади поперечного сечения. Значительная

ТАБЛИЦА 1. Результаты гидравлического расчета бесполостных дрен

	Форма поперечного сечения	Глубина воды в точке водораздела, м	Величина снижения уровня воды относительно основания балластной призмы, м	Площадь поперечного сечения бесполостной дрены, м ²
1	Трапециевидальное	0,50	0,70	1,92
2	Составное	0,84	0,36	1,44
3	Треугольное	0,75	0,45	1,728

площадь поперечного сечения также в большей степени будет способствовать увеличению несущей способности земляного полотна.

Учитывая, что щебень, который используется в качестве заполнителя бесполостных дрен, обладает хорошими фильтрационными свойствами и высокими прочностными характеристиками, в сельском хозяйстве при осушении в слабоводопроницаемых грунтах открытые каналы глубиной до 1 м превращаются в бесполостные коллекторы. Они включаются в состав внутридорожной сети на полях. Бесполостные коллекторы используются одновременно в качестве дороги с односторонним движением техники по кольцевой или сквозной схеме. Для оценки напряжений в заполнителе дрены и окружающем ее грунте, а также осадки по оси дороги (бесполостной дрены) на различной глубине, считая от основания плит, нами был выполнен соответствующий расчет. На рис. 4 представлена расчетная схема.

В табл. 2 указаны физико-механические характеристики грунта, в котором проложен бесполостный коллектор.

За максимальную фактическую нагрузку принято давление от сельскохозяйственного трактора общего назначения 5-го тягового класса К-744 01 («Кировец») с эксплуатационной массой 118 кН.

На рис. 5 представлен фрагмент результатов расчета по следующей схеме нагружения: плиты уложены в два ряда, а нагрузка максимально смещена к правому краю. Край колеса находится над краем правой плиты.

Результаты расчета сведены в табл. 3, в которой для различных глубин приведены значения осадки h на оси дороги.

Результаты расчета свидетельствуют о возможности и целесообразности использования бесполостных дрен для осушения земляного полотна в слабоводопроницаемых грунтах. При этом достигается не только эффективное осушение, но и увеличение несущей способности земляного полотна.

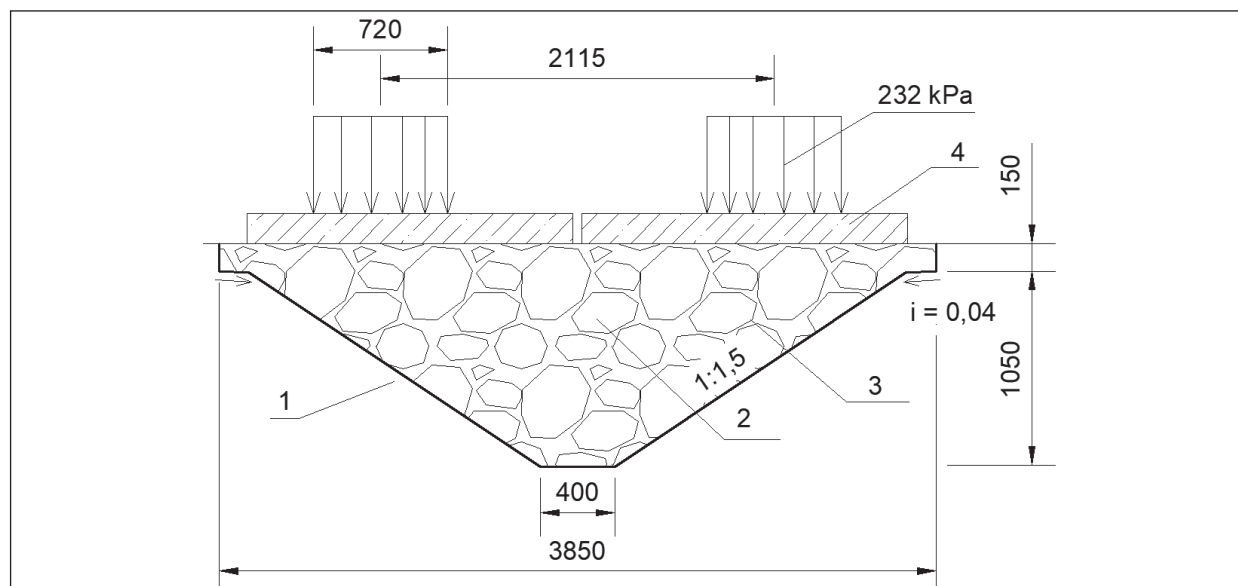


Рис. 4. Полевая дорога, совмещенная с бесполостным коллектором:

1 — мягкопластичный суглинок; 2 — бесполостный коллектор из щебня фракций 5–40 мм; 3 — геотекстиль по периметру бесполостного коллектора; 4 — железобетонная инвентарная плита

ТАБЛИЦА 2. Физико-механические характеристики грунта

Характеристика	Суглинок мягкопластичный	Щебень
Модуль деформации, МПа	17	40
Объемная масса, т/м ³	1,9	1,35
Угол внутреннего трения, град	19	40
Сцепление, кгс/см ²	0,25	0,02

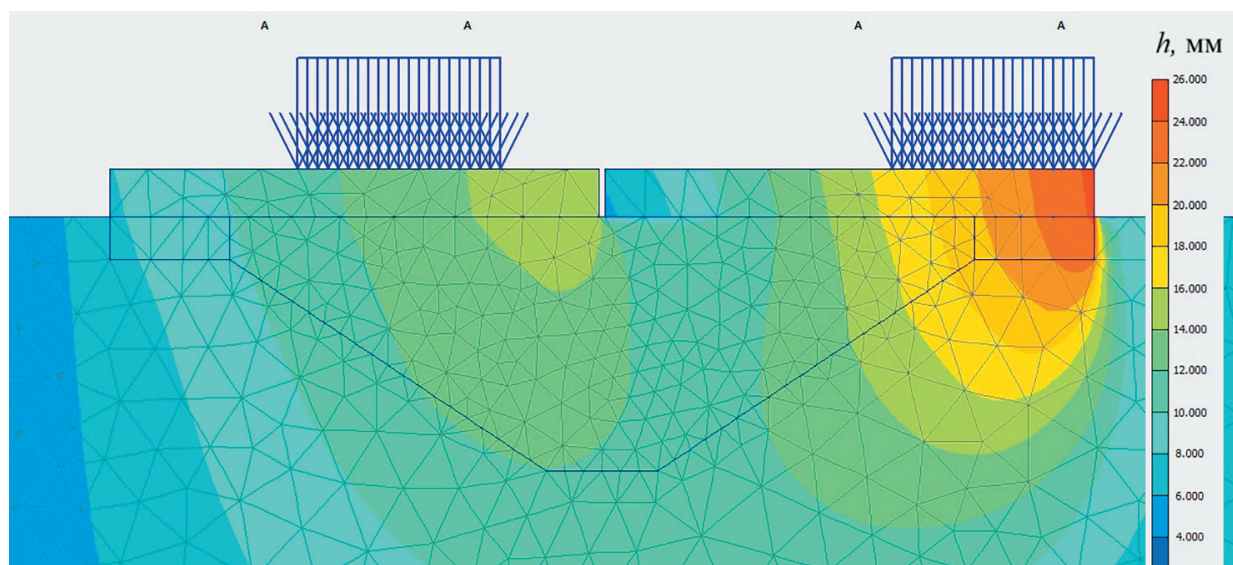


Рис. 5. Фрагмент результата вычисления осадок в грунтовом массиве

ТАБЛИЦА 3. Максимальные осадки на расчетной глубине по результатам расчетов (h)

	Расчетная глубина, считая от нижней грани плиты, м			
	0	0,45	0,9	1,8
Осадки, мм	14	12	10	8

Заключение

1. В связи со снижением континентальности климата на Северо-Западе России в ближайшие 30–50 лет приточность к дренажам, в том числе на железнодорожном транспорте, увеличится на 10–20%. Эффективность осушения земляного полотна может быть существенно увеличена, если для него применять бесполостной дренаж.

2. Форма поперечного сечения бесполостной дрены при прочих равных условиях (длина и высота дрены, крупность заполни-

теля и др.) существенно влияет на величину снижения уровня воды в земляном полотне, считая от основания балластной призмы. Выполненные гидравлические расчеты для дренажных форм поперечного сечения (треугольное, составное и трапецидальное) при одной и той же приточности к дренам показали, что предпочтительным является трапецидальное поперечное сечение.

3. Снижение уровня воды в земляном полотне способствует увеличению его несущей способности. В статье приведен пример

расчета осадок и величин напряжений в земляном полотне в бесполостном коллекторе трапецеидального поперечного сечения, который одновременно с отведением притекающего к нему дренажного стока входит в состав внутриводоемной дороги. В качестве нагрузки выбран трактор общего назначения 5-го тягового класса К-744 01 «Кировец» с эксплуатационной массой 118 кН. Результаты расчета свидетельствуют, что применение бесполостного дренажа в земляном полотне железных дорог не только обеспечит эффективное осушение, но и увеличит его несущую способность.

Список источников

1. Обоснование технических решений по дренажированию площадок агрегатных блоков АЭС / С.Г. Гордиенко [и др.] // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 2003. Т. 242. С. 169–175. EDN IBWHNX
2. Сольский С.В. Вторичное освоение техногенно-нагруженных территорий. Проблемы и решения // СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева, 2011. 323 с. EDN KJDQLN
3. Инженерная биология: учебник / Ю. И. Сухо-руких [и др.]. 4-е изд. СПб.: Лань, 2017. 344 с. EDN ZCGEАН
4. Штыков В. И., Янко Ю. Г. Бесполостной дренаж периодического профиля // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 4. С. 35–37. EDN MUTSEV
5. Бесполостной дренаж: гидравлическое обоснование, расчет и эффективность действия / В. И. Штыков [и др.] СПб.: Б. и., 1997. 224 с. EDN ZIWSFB
6. Пузыревский Н. П. Фильтрующие насыпи. Л., М.: Госстройиздат, 1934. 169 с.
7. СТО Газпромтранс 1-2012. Технические условия на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию железных дорог на полуострове Ямал. М.: ЦНИИС, 2012. 109 с.
8. Канцибер Ю. А., Штыков В. И., Пономарев А. Б. Повышение эффективности осушения слабо-допроницаемых грунтов земляного полотна железных дорог // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 14, № 1. С. 43–51. EDN YNBXUN
9. Enhancement of Subgrade's Bearing Capacity in Low Water Permeable (Clay) Soils / L. S. Blazhko [et al.] // Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geocology (TGG-2017), Saint Petersburg, May 17–19, 2017. S. Petersburg, 2017. Pp. 710–715. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.112. EDN XMYQXF
10. Штыков В. И. Гидравлический расчет бесполостных дрен трапецеидального поперечного сечения, закладываемых с уклоном // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 2014. Т. 274. С. 14–21. EDN TPUXGL
11. Штыков В. И., Пономарев А. Б. Гидравлический расчет бесполостных дрен треугольного поперечного сечения при переходном режиме // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2019. Т. 16, № 3. С. 523–532. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-3-523-532. EDN ZQMGCB
12. Руководство по мелиорации полей / Г. Г. Гулюк [и др.]. СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2007. 238 с. EDN QKYSLF

Дата поступления: 05.03.2026

Решение о публикации: 06.05.2026

Контактная информация:

ШТЫКОВ Валерий Иванович — доктор техн. наук, профессор кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»; shtykov41@mail.ru

ПОНОМАРЕВ Андрей Борисович — кандидат техн. наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»; pol1nom@yandex.ru

ЯНКО Юрий Григорьевич — кандидат техн. наук; yanko@agrophys.ru

The Influence of the Shape of the Cross-Section of a Cavity-Free Drain on the Dehumidification Efficiency

V. I. Shtykov¹, A. B. Ponomarev¹, Yu. G. Yanko²

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

²Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky pr., Saint Petersburg, 195220, Russia

For citation: *Shtykov V. I., Ponomarev A. B., Yanko Yu. G. The Influence of the Shape of the Cross-Section of a Cavity-Free Drain on the Dehumidification Efficiency // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 2. Pp. 391–401. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-391-401 (In Russian)*

Abstract

Objective: due to the observed trend of decreasing climate continentality in the North-West of Russia in the next 30–50 years, the supply to wastewater disposal systems in railway transport will increase by an average of 10–20%, however, waterlogging is already observed in poorly permeable soils in some periods. Calculations show that the efficiency of drainage of the earth bed can be significantly increased if cavity-free drainage is applied. Caveless drains can be given a different cross-sectional shape, and it is of practical interest to answer the question of how, all other things being equal, this will affect the effectiveness of drainage. **Methods:** the bearing capacity of the soil of the roadbed is influenced by its humidity regime, while increasing the depth of the groundwater position in the roadbed, counting from the base of the sleepers, will also help to increase the bearing capacity of the roadbed. An example of the hydraulic calculation of caveless drains of different cross-sectional shapes is given. **Results:** it was found that of the three different cross-sectional shapes (trapezoidal, composite and triangular), the cavity-free drainage having a trapezoidal cross-sectional shape has the greatest drainage efficiency. At the end of the article, geotechnical calculations of sediments and stresses in soft-plastic loam are performed for the same cross-sectional shape. **Practical significance:** a justification has been obtained for the most effective cross-sectional shape of a cavity-free drainage for drainage of an earth bed from poorly permeable soils.

Keywords: cavity-free drainage, hydraulic calculation, drainage system, reclamation channel

References

1. Gordienko S.G., et al. Obosnovanie tekhnicheskikh reshenij po drenirovaniyu ploshchadok agregatnykh blokov AES [Justification of Technical Solutions for the Drainage of Sites of NPP Aggregate Units], *Izvestiya Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B. E. Vedeneeva [Proceedings of the B. E. Vedeneev All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering]*, 2003, vol. 242, pp. 169–175. EDN IBWHNX (In Russian)

2. Sol'skij S. V. Vtorichnoe osvoenie tekhnogenno-nagruzhenykh territorij. Problemy i resheniya [Secondary Development of Technogenically Loaded Territories. Problems and Solutions], Saint Petersburg,

Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut gidrotekhniki im. B. E. Vedeneeva [B. E. Vedeneev All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering], 2011, 323 p. ISBN 978-5-85529-148-3. EDN KJDQLN (In Russian)

3. Sukhorukikh Yu. I., et al. Inzhenernaya biologiya: uchebnik, 4-e izdanie [Engineering Biology: A Textbook, 4th edition], Saint Petersburg, Izdatel'stvo lan' [Lan Publishing House], 2017, 344 p. ISBN 978-5-8114-1966-1. EDN ZCGEAH (In Russian)

4. Shtykov V. I., Yanko Yu. G. Bespolostnoj drenazh periodicheskogo profilya [Cavity-Free Drainage of a Periodic Profile], *Melioratsiya i vodnoe khozyajstvo*

[*Land Reclamation and Water Management*], 2009, no. 4, pp. 35–37. EDN MUTSEV (In Russian)

5. Shtykov V. I., et al. Bespolostnoj drenazh: gidravlichesкое obosnovanie, raschet i effektivnost' dejstviya [Cavity-Free Drainage: Hydraulic Justification, Calculation and Effectiveness of Action], Saint Petersburg, B. i., 1997, 224 p. EDN ZIWSFB (In Russian)

6. Puzyrevskij N. P. Fil'triruyushchie nasypi [Filtering Mounds], Leningrad–Moscow, Gosstrojizdat, 1934, 169 p. (In Russian)

7. STO Gazpromtrans 1-2012. Tekhnicheskie usloviya na proektirovanie, stroitel'stvo i vvod v ekspluatatsiyu zheleznykh dorog na poluostrove Yamal [Gazpromtrans Organization Standard 1-2012. Technical Specifications for the Design, Construction and Commissioning of Railways on the Yamal Peninsula], Moscow, Central Research Institute of Communications, 2012, 109 p. (In Russian)

8. Kantsiber Yu.A., Shtykov V. I., Ponomarev A.B. Povyshenie effektivnosti osusheniya slabovodopronitsaemykh gruntov zemlyanogo polotna zheleznykh dorog [Improving the Efficiency of Drainage of Poorly Permeable Soils of the Railway Trackbed], *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2017, vol. 14, no. 1, pp. 43–51. EDN YNBXUN (In Russian)

9. Blazhko L. S., et al. Enhancement of Subgrade's Bearing Capacity in Low Water Permeable (Clay) Soils, *Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017)*, Saint Petersburg, 2017, pp. 710–715. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.112. EDN XMYQXF

10. Shtykov V. I. Gidravlicheskiy raschet bespolostnykh dren trapetseidal'nogo poperechnogo secheniya, zakladyvaemykh s uklonom [Hydraulic

Calculation of Hollow Drains of Trapezoidal Cross Section Laid with a Slope], *Izvestiya Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B. E. Vedeneeva [Proceedings of the B. E. Vedeneev All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering]*, 2014, vol. 274, pp. 14–21. EDN TPUXGL (In Russian)

11. Shtykov V. I., Ponomarev A. B. Gidravlicheskiy raschet bespolostnykh dren treugol'nogo poperechnogo secheniya pri perekhodnom rezhime [Hydraulic Calculation of Hollow Triangular Cross-Sectional Drains in Transition Mode], *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 523–532. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-3-523-532. EDN ZQMGCB (In Russian)

12. Gulyuk G. G., et al. Rukovodstvo po melioratsii polej [Field Reclamation Guide], Saint Petersburg, *Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij universitet Petra Velikogo [Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University]*, 2007, 238 p. ISBN 5-7422-1551-7. EDN QKYSLF (In Russian)

Received: March 05, 2026

Accepted: May 06, 2026

Author's information:

Valerij I. SHTYKOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor of the Department “Water Supply, Sanitation and Hydraulics”;
shtykov41@mail.ru

Andrej B. PONOMAREV — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department “Water Supply, Sanitation and Hydraulics”; pol1nom@yandex.ru

Yurij G. YANKO — PhD in Engineering;
yanko@agrophys.ru