

Анализ заиляемости бесполостных дренах частицами грунта, поступающими внутрь дренах через защитно-фильтрующий материал

В.И. ШТЫКОВ, докт. техн. наук, член-корреспондент РАСХН, профессор ПГУПС

Бесполостным называется дренаж, в котором водоотводящие полости заполнены крупным хорошо фильтрующим материалом. Особенно перспективно его применение в районах с глубоким промерзанием грунтов. Бесполостный дренаж применяется при осушении железнодорожного полотна в слабопроницаемых грунтах под названием тупикового дренажа.

В статье проанализировано изменение вертикальной составляющей скорости фильтрационного потока по длине бесполостных дренах и установлены участки, которые будут подвергаться заилению в наибольшей степени. Даны предложения по учету этого заиления.

Из контактной зоны дренах с засыпкой допускается вынос суффозионных частиц диаметром менее 0,05 мм в размере 3...5% от объема засыпки дренах. Если принять среднюю глубину заложения дренах равной 1,0 м, то при высоте дренах 0,2 м, ширине 0,1 м и равномерном распределении вынесенных в дренах частиц по ее длине высота дренах может уменьшиться на 20%. Если же частицы будут перераспределяться по длине дренах, то это, как минимум, будет приводить к изменению уклона ее дна или к резкому уменьшению ее живого сечения, что существенно уменьшит ее водоотводящую способность. И если в случае трубчатого дренажа в практике накоплен большой опыт в обнаружении мест заиления дренах и в их устранении, например, посредством промывки, то в случае бесполостного или тупикового дренажа промывка практически невозможна. Поэтому, прежде чем разрабатывать мероприятия по предотвращению последствий заиления, целесообразно проанализировать характер изменения горизонтальной и особенно вертикальной составляющей скорости по длине дренах.

1. Вывод зависимости, характеризующей изменение по длине бес-

полостной дренах отношения вертикальной составляющей скорости фильтрации к горизонтальной.

При разработке методики гидравлического расчета бесполостного дренажа [1] рассматривалась структурная форма потока, в которой вертикальная составляющая вектора скорости v в любой точке области движения равна нулю, а поток имеет осредненную по глубине горизонтальную составляющую v_z . В действительности линии тока начнутся на свободной поверхности фильтрационного потока в дренах, и в любой его точке имеет место как горизонтальная v_z , так и вертикальная составляющая v_z скорости v_{ϕ} .

Количественная оценка величины отношения v_z/v_s по длине потока проводилась на гидравлическом лотке с переменным уклоном длиной 3,5 м и шириной 0,3 м. В опытах использовался песок крупностью 0,63...1,25 мм. Коэффициент фильтрации песка составил $2,75 \cdot 10^{-3}$ м/с. Обработка результатов эксперимента заключалась в сопоставлении величин v_z/v_s в различных поперечных сечениях по длине дренах, с погрешностями в определении глубин потока в этих же сечениях по экспериментальным и теоретическим кривым свободной поверхности, рассчитанным без учета вертикальной составляющей скорости течения потока.

Результаты проведенных экспериментов показали, что при $0 \leq i < 2\sqrt{\frac{q'}{K \cdot b}}$, несмотря на существенное превышение v_z над v_s , отклонение расчетных глубин потока от экспериментальных не

превышало 9,1%, а с увеличением уклона дренах отношение v_z/v_s уменьшается и погрешность расчетов не превышает 7%. Через i обозначен уклон дна бесполостных дренах; q' — приток к дренах на единицу ее длины; b — ширина бесполостной дренах; K — коэффициент фильтрации заполнителя бесполостной дренах при ламинарном режиме фильтрации.

Таким образом, принятая схема течения в методике гидравлического расчета дренажа вполне удовлетворительно описывает реальные фильтрационные потоки в бесполостном дренаже.

Однако, при поступлении в дренаж вместе с водой взвешенных частиц, прошедших через защитно-фильтрующий материал, которым, как минимум, сверху прикрывается дренаж даже в случае, если он заложен в глинистых грунтах, частицы будут оседать на дно дренах более интенсивно в тех местах, в которых вертикальная составляющая скорости их перемещения будет максимальна.

Поэтому представляет интерес ответ на вопрос, а как вообще изменяется вертикальная составляющая скорости по длине дренах при различных уклонах дна?

Запишем уравнение неразрывности для произвольной точки, находящейся в плоскости, параллельной основному направлению движения воды в дренаже:

$$\frac{\partial v_s}{\partial s} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Проинтегрируем его по z , помня, что у нас v_s — есть функция только от S , определяемая уравнением:

$$v_s = k \left(i - \frac{db}{ds} \right) \quad (1)$$

Получаем для v_z следующее выражение:

$$v_z = kz \cdot \frac{d^2b}{ds^2} \quad (2)$$

Движение воды в бесполостной дрене при ламинарном режиме фильтрации и уклоне дна $i > 0$ описывается следующим дифференциальным уравнением [1]:

$$Kbb \left(i - \frac{db}{ds} \right) = q \cdot s, \quad (3)$$

где b — глубина воды в рассматриваемом сечении бесполостной дрены; s — расстояние до него по оси s от истока дрены.

Продифференцируем его дважды по s и подставим полученное выражение для $\frac{d^2b}{ds^2}$ в уравнение (2). После некоторых преобразований получим:

$$v_z = -\frac{q'}{b} \cdot \frac{z}{b} \left(1 - i \cdot \frac{s}{b} + U \cdot \frac{s^2}{b^2} \right), \quad (4)$$

где z — координата точки, взятой в рассматриваемом сечении бесполостной дрены, отсчитываемая от дна бесполостной дрены, совпадающей с осью s ; $U = q'/Kb$ — совокупный безразмерный параметр.

Введем в уравнение (4) безразмерный параметр $t = b/s$, который получил название углового параметра мощности потока b в сечении с координатой s (рис. 1) [1]:

$$v_z = -\frac{q' \cdot z}{bb} \left(1 - \frac{i}{t} + \frac{U}{t^2} \right)$$

Вертикальная составляющая скорости на депрессионной кривой, для которой $z = b$ выражается зависимостью:

$$v_b = -\frac{q'}{b} \left(1 - \frac{i}{t} + \frac{U}{t^2} \right) \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (1) и (3) и имея в виду, что $t = b/s$, получаем:

$$v_s = \frac{q'}{b \cdot t} \quad (6)$$

Найдем отношение вертикальной составляющей скорости к горизонтальной для точек, находящихся на свободной поверхности фильтрационного потока в дрене, используя зависимости (5) и (6):

$$\frac{v_b}{v_s} = (i - t - \frac{U}{t}) \quad (7)$$

Таким образом, отношение v_b/v_s зависит от уклона дна бесполостной дрены и углового параметра мощности потока $t = b/s$.

2. Анализ изменения вертикальной составляющей скорости фильтрационного потока по длине бесполостной дрены.

Ниже в таблице приведены эпюры изменения отношения v_b/v_s по длине дрены при изменении уклона дна i в следующих пределах:

$$i = 0; 0 < i < \sqrt{U}; i = 2\sqrt{U} \text{ и } i > 2\sqrt{U}$$

Рассмотрим только случаи свободного истечения из устья, когда подпор со стороны водоприемника отсутствует. Проанализируем характер изменения отношения v_b/v_s по длине дрены при различных уклонах дна.

При уклоне дна дрены равном нулю максимальное значение отношения v_b/v_s имеет место в истоке дрены, где горизонтальная составляющая скорости очень мала и уменьшение высоты дрены в этом сечении за счет более интенсивного заилиния практически не скажется на ее водоотводящей способности. Далее по мере приближения к устью дрены горизонтальная составляющая скорости v_s возрастает, возрастает и v_b ; отношение v_b/v_s также возрастает, достигая максимума в устье дрены, то есть отложение наилка в устье дрены будет несколько больше, чем в ее средней части. Это обстоятельство следует учитывать при назначении высоты дрены в устьевой части.

Из рассмотрения кривой свободной поверхности фильтрационного потока (рис. 1) и эпюры изменения v_b/v_s по длине бесполостной дрены при уклонах ее дна $0 < i < 2\sqrt{U}$ (см. таблицу) следует: все, что говорилось об изменении интенсивности заилиния дрены по ее длине, действительно и для этого случая.

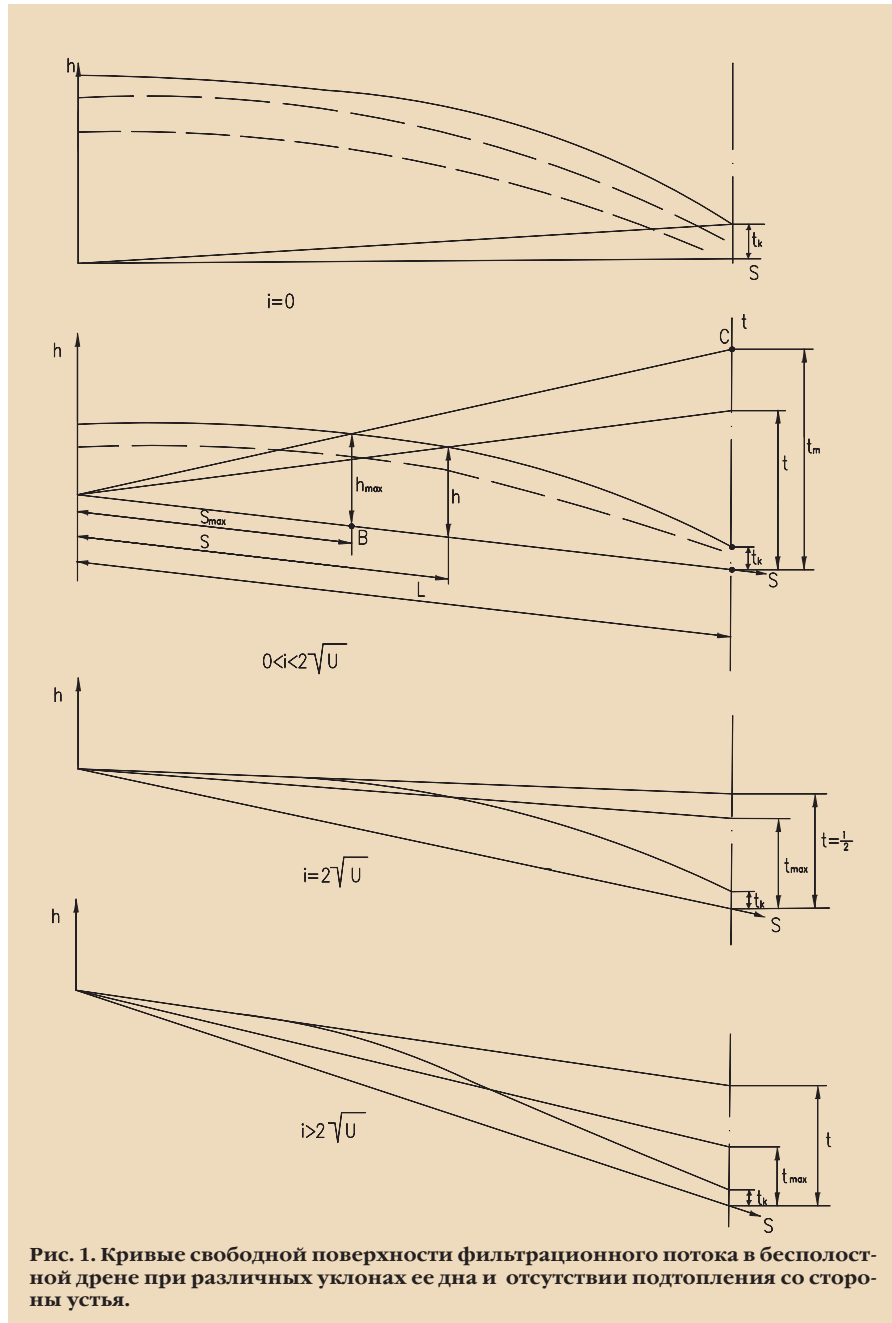


Рис. 1. Кривые свободной поверхности фильтрационного потока в бесполостной дрене при различных уклонах ее дна и отсутствии подтопления со стороны устья.

Таблица

Эпюры изменения отношения горизонтальной составляющей скоростей к вертикальной на свободной поверхности фильтрационного потока по длине бесполостной грены при различных уклонах ее дна и свободном истечении из устья.

N варианта	Пределы изменения уклона дна i	Эпюра изменения по длине бесполостной грены
1.	$i=0$	
2.	$0 < i < 2\sqrt{U}$	
3.	$i=2\sqrt{U}$	
4.	$i > 2\sqrt{U}$	

При уклоне дна дрена $i = 2\sqrt{U}$ глубина фильтрационного потока в истоке дрена равна нулю. Как следует из рис. 1 и формулы (6), горизонтальная составляющая скорости фильтрационного потока по длине дрена непрерывно возрастает. Из рассмотрения характера

изменения эпюры отношения скоростей v_h/v_s по длине дрена (см. таблицу, вариант 3) следует, что примерно с середины дрена вертикальная составляющая v_h начинает возрастать, причем более интенсивно по сравнению с v_s . Соответственно, слой наилка при

приближении к устью будет увеличиваться. Несмотря на увеличение горизонтальной составляющей скорости в устье дрена она будет меньше незаилающей и тем более размывающей для частиц диаметром 0,05 мм. В качестве мероприятия, учитывающего увеличение заилиenia дрена в ее устье будет сохранение максимальной высоты бесполостной дрена до самого устья несмотря на то, что начиная примерно с середины дрена глубина фильтрационного потока будет уменьшаться. Как следует из рис. 1 (случай $i > 2\sqrt{U}$) и таблицы (вариант 4) все, что говорилось о варианте с уклоном дна $i = 2\sqrt{U}$, действительно и для варианта с уклоном дна дрена $i > 2\sqrt{U}$. Таким образом, и в этом случае следует, начиная от середины дрена, сохранять высоту дрена постоянной.

Выводы

1. При наличии суффозионных частиц в засыпке бесполостного дренажа в размере до 5% от ее объема высота дрена принимается на 20% больше максимальной глубины фильтрационного потока, определенной расчетом.
2. При уклонах дна бесполостной дрена, изменяющихся в пределах $0 \leq i < 2\sqrt{U}$ и $i \geq 2\sqrt{U}$, наибольшая интенсивность отложения наилка будет наблюдаться в устьевых участках, в связи с чем, несмотря на уменьшение глубины фильтрационного потока от середины дрена к ее устью, высоту ее следует сохранять постоянной.

ЛИТЕРАТУРА

Штыков В.И., Гордиенко С.Г. Бесполостной дренаж: Гидравлическое обоснование, расчет и эффективность действия. Санкт-Петербург, 1997, 224 с.

