

**А. И. МУРАШНО
Е. Г. САПОЖНИКОВ**



**ЗАЩИТА
ДРЕНАЖА
ОТ ЗАИЛЕНИЯ**

А. И. МУРАШКО, Е. Г. САПОЖНИКОВ

ЗАЩИТА ДРЕНАЖА ОТ ЗАИЛЕНИЯ

МИНСК «УРАДЖАН» 1978

631.6
М 91
УДК 626.862:678.5

Мурашко А. И., Сапожников Е. Г.
М 91 **Защита дренажа от заиления.** Мн.: Ураджай,
1978.— 168 с. с ил.

В книге дано систематическое изложение причин и видов заиления горизонтального трубчатого дренажа, приведены результаты лабораторных и полевых исследований эффективности защитных фильтров, методика проектирования защитных мероприятий в различных грунтовых и гидрогеологических условиях, теория и методика фильтрационных расчетов дренажа с учетом конструктивных особенностей труб, параметров и способов укладки фильтров. Приведена технология производства работ по защите дренажа от заиления.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников мелиоративно-строительных организаций, проектных и научно-исследовательских учреждений.

631.6

К $\frac{40305-055}{М 305(05)-78}$ 60—78

© Издательство «Ураджай», 1978

ПРЕДИСЛОВИЕ

Горизонтальный трубчатый дренаж — самый распространенный в настоящее время способ осушения сельскохозяйственных угодий. Правильно запроектированный и качественно построенный, он нормально функционирует очень длительный период без существенных эксплуатационных затрат на ремонт, очистку и восстановление. Однако мелиоративная практика знает массу случаев, когда трубчатый дренаж за короткий послестроительный период переставал справляться со своевременным отводом избыточных грунтовых вод, выходил из строя и рестраивался.

Как показывают практика и специальные исследования, основной причиной снижения эффективности трубчатого дренажа является его заиление — частичная или полная закупорка полости труб минеральными зернами грунта, отложениями железистых соединений и солей, механический, биологический и химический кольматаж водоприемных отверстий в трубах, защитных фильтров и сводообразующей придренной области грунта. Факторами, обуславливающими заиление дренажа, являются: большие градиенты фильтрационного потока вблизи дрен, отсутствие или неправильный подбор фильтров, окислительные процессы при аэрации дренированной воды в трубах, деятельность железобактерий, некачественное строительство, приводящее к недопустимо большим зазорам между керамическими трубами и небрежной укладке фильтров, малые уклоны дренажных линий, недостаточные скорости движения воды в дренах, нарушение технологических процессов и др.

Несмотря на то, что заиление дренажа является крайне нежелательным и широко распространенным явлением, проектные и строительные организации уделяют ему все еще недостаточное внимание. Можно правильно запроектировать расстояния между дренами и их глубину, правильно назначить диаметры труб и уклоны дренажных линий, выбрать соответствующий заданным условиям фильтр и схему его укладки, наконец, качественно построить дренаж, но несвоевременно засыпать траншеи, и дренаж нормально функционировать не будет. С другой стороны, нельзя утверждать, что в настоящее время наука в достаточной степени изучила это сложное явление и выдала практикам надежные рекомендации по методам и способам защиты дренажа от заиления. По ряду вопросов есть противоречивые мнения и предложения.

Целью настоящей работы является прежде всего объяснение физической сущности процессов заиления дренажа, установление его причин и следствий и разработка рекомендаций по методам и способам защиты.

УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТРУБЧАТОГО ДРЕНАЖА

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ

Грунты, в которых укладывается горизонтальный трубчатый дренаж с целью осушения сельскохозяйственных угодий, подразделяются на две категории: минеральные и органические. Первые в свою очередь делятся на несвязные, к которым относятся разнoзернистые пески и плавуны, и связные — супеси, суглинки и глины. Органическими породами являются торф и сапропели. Указанные грунты по своим физико-техническим характеристикам: гранулометрическому составу, пористости, водопроницаемости, пластичности, фильтрационной прочности, плотности, характеру деформаций и др. — весьма существенно различаются и при решении вопросов, касающихся защиты дренажа от заиления, требуют во многих случаях совершенно разного подхода.

Покровные четвертичные отложения и современные образования мелиорируемых объектов характеризуются разнообразием и частой сменяемостью видов грунта по простиранию и по глубине. Достаточно сказать, что нередко на протяжении одной дрены, не говоря уже о коллекторах, можно встретить 2—3 разновидности грунта. Так, исток дрены может залегать в мелкозернистых песках, средняя часть — в торфе, а устье — в суглинке. Наибольшую опасность в данном случае представляет мелкозернистый песок.

Минеральные грунты, как известно, состоят из отдельных обломков горных пород размером от долей микрона до десятков миллиметров. Изменения размеров слагающих грунт элементов в столь широких пределах сильно сказываются на его свойствах. Пески, например, непластичны, хорошо водопроницаемы, имеют малую фильтрационную прочность, сыпучи, влажность их не выше 50%. Глины обладают большой пластичностью и фильтрационной прочностью, мало водопроницаемы, влажность их достигает 60%. Исходя из этого классификация минеральных грунтов осуществляется прежде всего

по размерам слагающих элементов. Нижней границей песчаной фракции считаются частицы диаметром 0,05, верхней — 2 мм. К гравийной фракции относятся частицы крупнее 2 мм. Глинистые фракции объединяют частицы <0,005, пылеватые 0,005—0,05 мм.

Таблица 1

Гранулометрическая классификация пород (по Охотину, 1940)

Грунты	Содержание частиц в процентах к весу высушенного образца		
	глинистых <0,005 мм	пылеватых 0,005—0,05 мм	песчаных 0,05—2,0 мм
Глины	>30	—	—
Суглинок тяжелый	30—20	—	—
» средний	20—15	—	Больше, чем пылеватых
» средний пылеватый	20—15	Больше, чем песчаных	—
Суглинок легкий	15—10	—	То же
» пылеватый	15—10	Больше, чем песчаных	—
Супесь тяжелая	10—6	—	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2—0,25 мм
» мелкозернистая	10—6	—	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25—0,05 мм
» тяжелая пылеватая	10—6	Больше, чем песчаных	—
Супесь легкая	6—3	—	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2—0,25 мм
» легкая мелкозернистая	6—3	—	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25—0,05 мм
Супесь легкая пылеватая	6—3	Больше, чем песчаных	—
Песок	<3	—	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2—0,25 мм
» мелкозернистый	<3	—	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25—0,05 мм

Физико-технические характеристики минеральных грунтов в основном определяются соотношением фракций различной крупности. Количественное соотношение различных фракций в дисперсных породах характеризуется гранулометрическим составом, который показывает, какого размера частицы и в каком количестве содержатся в том или ином грунте. Существует много классификаций грунтов по гранулометрическому составу, наибольшей известностью пользуется классификация В. В. Охотина (табл. 1). В зависимости от типа грунта (его гранулометрического состава) изменяются такие показатели, как пористость и водопроницаемость породы.

Торфяные грунты представляют собой природные органические образования из разложившихся остатков мхов, лишайников, трав, древесины. Размеры частиц торфов колеблются в очень больших пределах. Инженерные свойства торфяных грунтов зависят от состава, структуры и степени разложения органического вещества, которые в свою очередь определяются генезисом, возрастом и современными условиями залегания болот.

Проектирование защитных мероприятий должно основываться прежде всего на учете физико-технических характеристик грунтов. Грунтовые условия являются также определяющими при выборе технологии строительства дренажа и укладки защитных фильтров.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ

Основными геотехническими характеристиками несвязных грунтов являются: гранулометрический состав, физические, водно-физические, механические и суффозионные свойства. К несвязным минеральным грунтам, встречающимся при мелиоративном строительстве, относятся крупнообломочные, песчаные, а также плавуны. По гранулометрическому составу они разделяются на ряд групп (табл. 2, СНиП 11-15-74).

Важной характеристикой несвязных грунтов, определяющей многие физико-технические характеристики (водопроницаемость, пористость, способность к деформациям и др.), является их однородность по гранулометрическому составу. Для суждения об однородности грунтов применяют коэффициент разнотерности

Классификация несвязных грунтов

Грунты	Распределение частиц по крупности, % от веса воздушно-сухого грунта
<i>А. Крупнообломочные</i>	
Гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц — дресвяный)	Вес частиц крупнее 2 мм — более 50%
<i>Б. Песчаные</i>	
Песок гравелистый	Вес частиц крупнее 2 мм — более 25%
» крупный	Вес частиц крупнее 0,50 мм — более 50%
» средней крупности	Вес частиц крупнее 0,25 мм — более 50%
» мелкий	Вес частиц крупнее 0,1 мм — 75% и более
» пылеватый	Вес частиц крупнее 0,1 мм — менее 75%

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (1)$$

где d_{60} , d_{10} — диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 60 и 10% по весу (рис. 1).

Условно принимают, что при $\eta \leq 5$ структура песка равномерно-зернистая, при $\eta > 5$ — неравномерно-зернистая.

Основные физические свойства. Плотность песков колеблется от 2,64 до 2,7 и в среднем составляет 2,65—2,66 г/см³; объемная масса зависит от плотности, пористости и влажности и колеблется от 1,45 до 1,70 (сухих песков — от 1,5 до 1,8 г/см³). Для песков, лежащих ниже уровня грунтовых вод, объемная масса скелета с учетом взвешивающего действия воды определяется по формуле

$$\gamma_w = (1 - n_1)(\gamma_y - \gamma_v), \quad (2)$$

где n_1 — пористость в долях единицы;

γ_y — плотность грунта;

γ_v — плотность воды.

Объемная пористость грунта вычисляется по формулам:

$$n_1 = 1 - \frac{\gamma_{об}}{\gamma_y (1 + w)}, \quad (3)$$

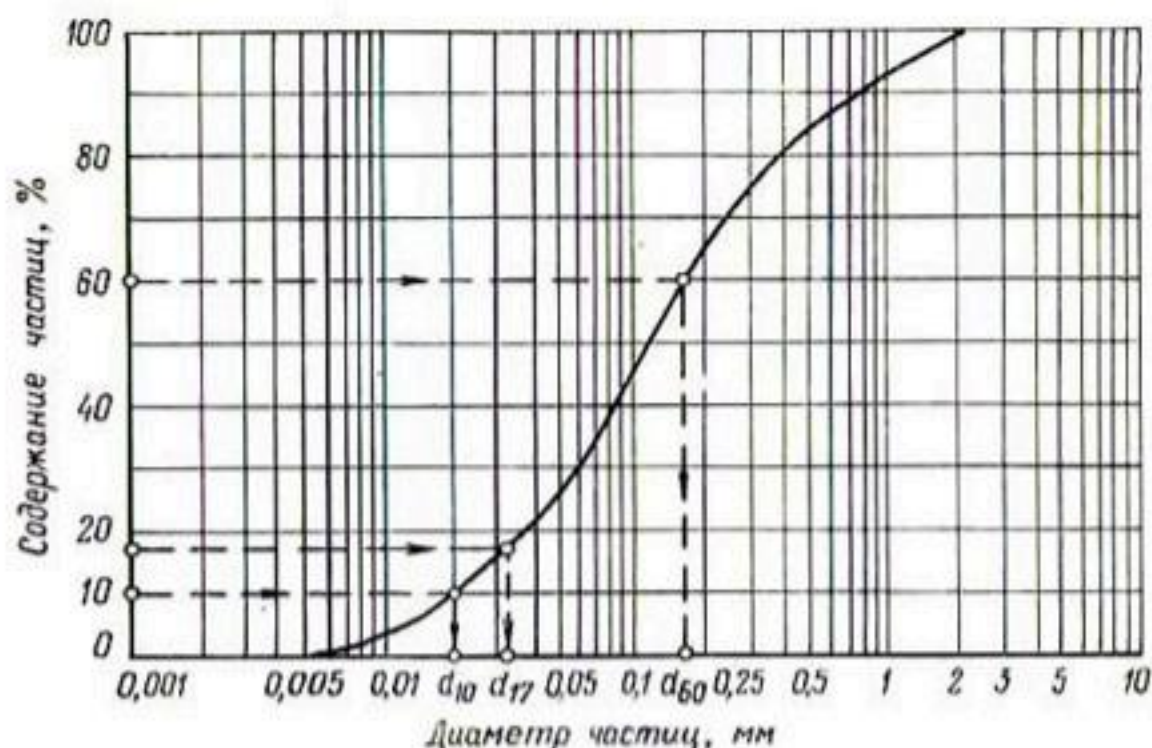


Рис. 1. График гранулометрического состава грунта.

где $\gamma_{об}$ — объемная масса грунта;
 w — весовая влажность в относительных единицах;

$$n_1 = \frac{\xi}{1 + \xi}, \quad (4)$$

где ξ — коэффициент пористости грунта при полном заполнении пор водой

$$\xi = \frac{w\gamma_y}{\gamma_n}. \quad (5)$$

Пористость песчаных грунтов можно вычислить по эмпирической формуле

$$n_1 = 0,40 - 0,1 \lg \eta. \quad (6)$$

Общая пористость песков колеблется от 0,2 до 0,55, наиболее часто находится в пределах 0,33—0,45. Величина отдельных пор изменяется от десятых до тысячных долей миллиметра и зависит от степени однородности гранулометрического состава грунта. В пределах толщи песка могут встречаться макропоры размером до 1—3 мм. Средний диаметр фильтрационных ходов в зернистых несвязных грунтах определяется по одной из следующих зависимостей:

А. Н. Патрашева

$$d_0 = 7,12 \sqrt{\frac{vk_{rp}}{gn_1}}, \quad (7)$$

М. П. Павчича

$$d_0 = 0,455 \frac{n_1}{1 - n_1} \sqrt[6]{\eta} d_{17}, \quad (8)$$

где k_{rp} — коэффициент фильтрации грунта;

v — кинематический коэффициент вязкости воды;

g — ускорение силы тяжести;

d_{17} — диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 17% по весу (рис. 1).

Некоторые водно-физические свойства песков. Гравитационная вода передвигается под действием силы тяжести по крупным порам, находясь в состоянии либо падения (просачивания), либо грунтового потока. Она обладает растворяющей способностью, оказывает гидростатическое давление на частицы и взвешивающее на грунты, расположенные ниже уровня воды, а также вызывает гидродинамическое давление и явления суффозии, кольматации, выпора и контактного размыва.

В песках имеет место, как правило, ламинарное параллельно-струйчатое движение воды, подчиняющееся закону Дарси $v = k_{rp}I$, когда скорость фильтрации v пропорциональна первой степени гидравлического градиента

$$I = \frac{dH}{dl}.$$

Водопроницаемость песчаных отложений колеблется в очень больших пределах и зависит не столько от общей пористости, сколько от размеров пор, которые определяются главным образом гранулометрическим составом песков, их плотностью и формой зерен. Чем неоднороднее пески по гранулометрическому составу (чем больше их коэффициент разнотекучести), тем они менее водопроницаемы.

Коэффициенты фильтрации песков определяются известными полевыми и лабораторными методами. Ориентировочные значения коэффициентов фильтрации песков даны в табл. 3.

Имеется много эмпирических формул для определения коэффициента фильтрации песков, наиболее известна формула М. П. Павчича

$$k_{rp} = \frac{3,99}{v} \cdot \frac{n_1^3}{(1 - n_1)^2} \sqrt[3]{\eta} d_{17}^2, \quad (9)$$

Таблица 3

Грунт	Коэффициент фильтрации $k_{гр}$, м/сут
Песок крупный гравелистый	50—100
» крупнозернистый	20—75
» среднезернистый	5—25
» мелкозернистый	1—5
» » глинистый	1—2
» пылеватый	0,5—1

которая справедлива для любых η и d_{17} (d в см, $k_{гр}$ в см/с).

Фильтрационные деформации песчаных грунтов. Под действием фильтрационного потока при градиентах, превышающих определенные значения, имеют место следующие виды деформаций песчаных грунтов: выпор, суффозия, контактный выпор и контактный размыв. Указанные явления наблюдаются лишь при определенной структуре и составе грунта и зависят от градиентов фильтрационного потока.

Выпор грунта фильтрационным потоком и переход его в разжиженное состояние возможен только при определенном гидравлическом напоре. В качестве критерия используется величина критического градиента $I_{кр}$. По данным И. И. Фадеева, в песках и супесях различного генезиса Мещерской низменности $I_{кр}$ при восходящем фильтрационном потоке колеблется от 0,8 до 1,25. По данным Ю. Ф. Буртыса, для песчаных грунтов Белорусского Полесья $I_{кр} = 0,9—1,3$.

Характерной особенностью песчаных грунтов является процесс внешней и внутренней суффозии при фильтрации воды с определенными градиентами. В общем случае песчаный грунт можно представить как совокупность двух фракций: скелета грунта, состоящего из частиц различной крупности и не перемещающихся внутри его при любых градиентах фильтрационного напора, и наполнителя, состоящего из мелких частиц, которые при градиентах, превышающих критические, могут перемещаться внутри грунта и выноситься из его толщи. Явление суффозии как раз и состоит в переносе частиц наполнителя (их принято называть суффозионными частицами). Для того чтобы в грунтах возникло явление суффозии, необходимы два условия: размеры суффозионных частиц должны быть

меньше диаметров фильтрационных ходов в грунте (геометрическое условие) и градиенты фильтрационного потока превышать критические для этих частиц.

Песчаные грунты по суффозионности можно разделить на четыре категории: суффозионные, малосуффозионные, практически несуффозионные и несуффозионные. Механическая суффозия в несвязном грунте происходит в том случае, если в нем имеются частицы, размер которых меньше диаметра наибольшего фильтрационного хода в грунте. Следовательно, условия возможности развития суффозии выражаются зависимостью

$$d_{ci} < d_0^{\max}, \quad (10)$$

где d_{ci} — диаметр суффозионных частиц в грунте.

Максимальная крупность частиц $d_{ci}^{\max}$, перемещение которых внутри грунта и вынос из него возможны, согласно исследованиям А. Н. Патрашева, М. П. Павчича и др., в 1,3 раза меньше максимального фильтрационного хода, т. е.

$$d_{ci}^{\max} = \frac{d_0^{\max}}{1,3} \quad (11)$$

или с учетом (8)

$$d_{ci}^{\max} = 0,35 \frac{n_1}{1 - n_1} d_{17} (1 + 0,05\eta) \sqrt[6]{\eta}. \quad (12)$$

Если $0,77d_0^{\max} > d_{\min}$, где $d_{\min}$ — минимальный диаметр частиц грунта, то грунт является суффозионным, так как из его толщи при определенных гидродинамических условиях по геометрическому критерию могут выносятся все частицы размером $d_{ci} \leq 0,77d_0^{\max}$. При обратном неравенстве ($0,77d_0^{\max} < d_{\min}$) грунт будет несуффозионным, потому что в данном случае при любых скоростях или градиентах фильтрационного напора вынос самых мелких частиц невозможен.

Грунт считается практически несуффозионным, если соблюдается следующее условие:

$$\frac{d_3}{d_{17}} \geq (0,32 + 0,016\eta) \sqrt[6]{\eta} \frac{n_1}{1 - n_1}, \quad (13)$$

где d_3 — диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 3% по весу (определяется по интегральной кривой гранулометрического состава).

Суффозионные деформации в грунте при выполнении геометрического условия могут развиваться при определенных скоростях или градиентах фильтрационного потока. Скорость фильтрации, при которой нарушается предельное равновесие суффозионных частиц, называется критической скоростью суффозии, и, по исследованиям С. К. Абрамова [1], она равна

$$v_{кр} = 60 \sqrt[3]{k_{гр}}, \quad (14)$$

где $k_{гр}$ — коэффициент фильтрации грунта, м/сут.

Контактный вынор песчаных грунтов, как показали многочисленные исследования [8, 18, 25], происходит в том случае, если величины гидравлических градиентов превышают критические, определяемые по следующим зависимостям: при восходящей фильтрации $I_d^{кв} \geq 1,5-2,0$; при нисходящей $I_d^{кв} \geq 1,0-1,5$.

Плывуны явления. Плывуны — грунты, которые при вскрытии приходят в движение и принимают характер текучего тела. Наиболее часто они встречаются среди водонасыщенных мелкозернистых пылеватых песков. По А. Ф. Лебедеву, следует различать истинные плывуны и псевдоплывуны. Первые характеризуются наличием пылеватых и глинисто-коллоидных частиц; по последним представлениям, в их генезисе существенную роль играет жизнедеятельность бактерий.

Плывуны — высокопылеватые и глинистые пески и супеси с большой (более 40%) пористостью, низкой водоотдачей и водопроницаемостью. Истинные плывунные пески и супеси начинают оплывать при влажности 6—9% и полностью переходят в текучее состояние при $w = 15-17\%$. Они создают большие трудности при строительстве дренажа и существенно усложняют защиту его от заиливания.

Рыхлые водонасыщенные пески независимо от их гранулометрического состава при значительных гидравлических градиентах способны разжижаться и превращаться в густую вязкую жидкость — грунтовую массу.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

К глинистым грунтам, называемым также связными или грунтами с пластическими свойствами, относят глины, супеси и суглинки различного генезиса и возраста.

В их составе различают два основных компонента: тонкодисперсные осадочные новообразования (глинистые минералы) и песчано-пылеватые фракции. Отличительными свойствами глинистых грунтов являются пластичность, способность набухания и усадки, липкость. В отличие от песчаных, они обладают значительным внутренним сцеплением и являются несущими. Фильтрационная прочность глинистых грунтов намного выше, чем песчаных.

Между дисперсностью глинистого грунта и его пластическими свойствами (способность раскатываться в шнур диаметром 3 мм) существует определенная зависимость, поэтому классификация глинистых грунтов осуществляется по числу пластичности $\bar{I}_p$, под которым понимают разность влажностей, соответствующих двум состояниям грунта: на границе текучести W_L и на границе раскатывания (пластичности) W_p :

$$\bar{I}_p = W_L - W_p.$$

СНиП 11-15-74 глинистые грунты разделяет по числу пластичности $\bar{I}_p$ на супеси ($0,01 \leq \bar{I}_p \leq 0,07$), суглинки ($0,07 < \bar{I}_p \leq 0,17$) и глины ($\bar{I}_p > 0,17$).

Водопроницаемость глинистых грунтов определяется опытным путем. Для суглинков коэффициент фильтрации может быть приближенно рассчитан по эмпирической зависимости (9) при замене в ней n_1 на n_ϕ . Значение n_ϕ определяется по формуле

$$n_\phi = n_1 - W_m \gamma_{ск}, \quad (15)$$

где $\gamma_{ск}$ — объемная масса скелета сухого грунта;

W_m — максимальная молекулярная влагоемкость связного грунта, определяемая (по микроагрегатному методу) по формуле

$$W_m = 0,016A + 0,04B + 0,1B + 0,35\Gamma, \quad (16)$$

A , B , B и Γ принимаются (в процентах) в зависимости от размеров частиц d : $A-d=0,5-0,25$ мм; $B-d=0,25-0,05$ мм; $B-d=0,05-0,005$ мм; $\Gamma-d<0,005$ мм. Проценты A , B , B и Γ снимаются с кривой гранулометрического состава связного грунта.

Глинистые грунты обладают высоким сопротивлением сдвигу, характеризуемым величиной сцепления и меньшим, чем у песчаных грунтов, углом внутреннего трения.

Фильтрационные разрушения глинистых грунтов на контакте с грубопористыми грунтами происходят в виде отрыва и отслаивания частиц при градиентах напора больше критических.

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРФЯНЫХ ГРУНТОВ

К торфам относятся грунты, содержащие более 60% растительных остатков. По классификации С. Н. Тюремнова [51], выделяются три типа торфа: низинный, переходный и верховой. Естественная влажность торфов очень высокая и находится в пределах 87—98%. Степень разложения растительных остатков колеблется от 5—10 до 45% и более. Зольных элементов мало — 2—15%. Плотность торфа — 1,1—1,8 г/см³ (в среднем 1,3—1,6 г/см³); объемная масса — 0,55—1,0 г/см³. Объемная масса скелета торфа, являющаяся показателем его плотности, обычно колеблется в пределах 0,08—0,24 г/см³ и зависит в первую очередь от его влажности и степени разложения. Пористость изменяется в пределах 80—95%.

Фильтрационные свойства средне- и хорошо разложившихся торфов довольно низкие, в среднем 0,4—1,2 м/сут. В слаборазложившихся торфах коэффициент фильтрации может достигать 10—15 м/сут. Наличие слаборазложившихся растительных остатков обуславливает довольно существенное сцепление торфяных почв. По данным А. Ф. Печкурова, структурное сцепление торфов колеблется от 40 до 830 кг/м² (среднее 140—650 кг/м²). Благодаря сцеплению и малым размерам пор торф обладает довольно высокой фильтрационной прочностью и относится к грунтам несущим.

Характерной особенностью торфяников является то, что с давностью осушения их степень разложения, плотность и зольность увеличиваются, а водопроницаемость уменьшается.

УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДРЕНАЖА

Строительство горизонтального трубчатого дренажа на землях сельскохозяйственного пользования в настоящее время осуществляется траншейными экскаваторами

типа ЭТЦ-202 и ЭТЦ-202А. Эти машины позволяют укладывать дрены на глубину до 2,0—2,3 м в траншеи шириной $\bar{B}=0,5$ м. Узкотраншейные (ЭТЦ-163, ЭТЦ-164, $\bar{B}=0,25$ м) и бестраншейные дреноукладчики в гумидной зоне применялись лишь экспериментально. Перспективность узкотраншейного и бестраншейного способов строительства дренажа бесспорна, особенно при замене керамических труб пластмассовыми.

В настоящее время почти исключительно применяются керамические дренажные трубы, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 8411—74 (приложение 1). В очень ограниченном количестве используются пластмассовые трубы (гофрированные и гладкостенные) по МРТУ 6-05-1078-72 и МРТУ 6-05-917-68 (приложения 2 и 3) и бетонные с фильтрующими стенками (трубо-фильтры).

Строительство дренажа траншейным способом ведется в такой последовательности: отрывают траншеи (по проектным трассам с заданными уклонами), укладывают трубы и защитные от заиления фильтры (в некоторых случаях фильтры не применяют), присыпают дрены вручную на высоту 20—30 см сухим грунтом из пахотного слоя, затем траншеи засыпают бульдозерами на всю высоту. Строительство ведется практически круглогодично, за исключением периода весенних паводков. Правда, зимняя укладка дрен ведется в очень ограниченных масштабах. Наиболее благоприятным периодом следует считать позднюю весну, лето и осень, когда уровни грунтовых вод на дренируемых участках залегают относительно глубоко. В случае расположения УГВ близко к поверхности почвы строительные работы существенно усложняются из-за появления в траншеях воды, обвалов стенок траншей, просадок машин. В этих условиях трудно обеспечить качественное выполнение работ, снижается производительность труда. При зимнем строительстве возникают затруднения при разработке замерзшего слоя почвы, а также присыпки дрен грунтом из пахотного слоя.

УСЛОВИЯ РАБОТЫ ДРЕНАЖА

В зависимости от гидрогеологических условий и климатических факторов условия работы горизонтального дренажа в годичном цикле и в многолетии очень сильно

изменяются. При атмосферном и безнапорном грунтовом питании дренаж, как правило, функционирует относительно непродолжительный период после снеготаяния, весенних паводков и обильных летне-осенних дождей. В эти периоды уровни грунтовых вод могут подниматься близко к поверхности почвы, водная нагрузка на дренаж максимальная. Градиенты фильтрационного потока в придренной зоне, вследствие существенного его сжатия при подходе к трубам, могут достигать значительных величин (5—20). Количество поступающей в дрены воды и скорости ее движения по трубам также максимальны.

В летнее и зимнее время УГВ опускаются, иногда ниже уровня уложенных труб, дренаж работает с малыми нагрузками, скорости движения воды в трубах небольшие, очень часто дренаж длительный период не работает.

Во время прохождения паводков устья дренажных коллекторов нередко находятся в подпоре, что обуславливает резкое падение скоростей движения воды в трубах.

На осушаемых объектах с обильным грунтовым и особенно грунтово-напорным питанием дренаж действует более равномерно и практически круглогодично. Но и в этом случае колебания водной нагрузки на дренаж и скоростей движения воды в трубах могут изменяться в широких пределах.

Изменение условий работы дренажа предопределяет и изменение процессов его заиляемости. При максимальных нагрузках на дренаж возможно большое поступление наносов и растворенного железа. В то же время в случае отсутствия подпора дренажных систем со стороны открытых каналов скорости движения воды в трубах достигают величин, обеспечивающих вынос наилка и самоочистку труб. При малонитенсивной работе дренажа попадающие в трубы частицы грунта и отложения железистых соединений, как правило, не выносятся из них. Идет постепенный процесс накопления наилка и железистых соединений, прилипания последних к стенкам во время периодического просыхания, и в дальнейшем, несмотря на возможное увеличение скоростей движения воды в период паводков, самоочистка дренажа становится невозможной.

ПРИЧИНЫ И ВИДЫ ЗАИЛЕНИЯ ДРЕНАЖА

КОНСТРУКЦИИ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ, СХЕМЫ УКЛАДКИ ФИЛЬТРОВ

Применяемые в мелиоративном строительстве дренажные трубы существенно отличаются по размерам, конструкциям и материалам. Наибольшее распространение получили короткие керамические трубы с круглыми и граничными нефилтрующими стенками. Внутренние диаметры их колеблются от 50 до 250 мм с градацией через 25 (50) мм, наружные — от 72 до 300 мм (приложение 1); длина труб 0,33 м. Отклонение в указанных размерах допускается от 2—3 до 6—8 мм. Торцовые плоскости могут отклоняться от перпендикуляра вследствие искривления продольной оси при обжиге на 2—4 мм.

Укладка труб в траншеи производится по спускному желобу или вручную. Находящийся внизу рабочий вручную поправляет их стыковку, добиваясь минимально возможного зазора. Нормативами предусматривается, что зазор между стыкующимися трубами не должен превышать 2 мм. Через него и происходит поступление грунтовой воды в дрены. В действительности, вследствие низкого качества керамических труб и сложных условий производства работ, фактические размеры стыковых зазоров являются величиной случайной и колеблются в очень больших пределах, часто намного превышая допустимые.

На рис. 2 представлены графики распределения максимальных величин стыковых зазоров между керамическими трубками τ_1 , построенные по результатам фактических замеров на ряде осушаемых объектов БССР. Как видим, наиболее часто встречающиеся величины зазоров дрен-осушителей — 1,0—1,5, коллекторов — 2,5—3,5 мм. При этом для труб малых диаметров $\tau_1 \geq 3$ мм составляет 16 %, а для труб $D_{\text{вн}} = 125$ мм — 42 %.

Максимальные размеры зазоров между трубами достигают 6—9 мм. Практически

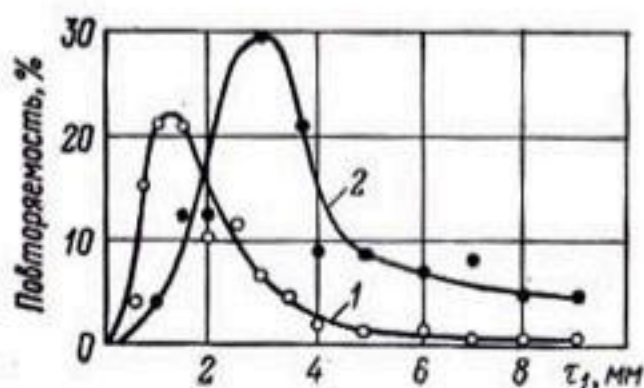


Рис. 2. Распределение величин стыковых зазоров между гончарными трубами:
1 — $D_{\text{вн}} = 50$ мм;
2 — $D_{\text{вн}} = 125$ мм.

избежать зазоров в отдельных стыках менее 4—5 мм невозможно даже при очень тщательной укладке дренажа.

Дренажные гофрированные и гладкостенные трубы из полимерных материалов имеют длину от 5—6 до 100—200 м. Круглые водоприемные отверстия в стенках или продольные и поперечные щели устраиваются с небольшими расстояниями по длине в несколько рядов по окружности. Диаметры отверстий $d_o = 1,5—3$ мм, шаг между ними $S = 5—15$ мм, число рядов перфораций $n = 3—8$ и более. Размеры продольных и поперечных щелей $\tau_o \times l$ — от $0,4 \times 6$ до 2×25 мм, $n = 3—10$ и более. Наружные диаметры пластмассовых дренажных труб колеблются в пределах 40—125 мм (приложения 2 и 3).

Трубофильтры (короткие трубки из сцементированной песчано-гравийной смеси) имеют фильтрующие стенки относительно большой толщины. Диаметры трубофильтров: внутренние $D_{\text{вн}} = 100—300$ мм, наружные $D = 200—400$ мм и более. Длина труб $S_1 = 0,5—1,0$ м. Коэффициенты фильтрации стенок $k_{\text{ф}} = 100—300$ м/сут и выше. Правда, после укладки трубофильтров в грунт и неизбежной частичной кольматации пор, имеющих сужающе-расширяющиеся продольные сечения в виде чечеточных капилляров, водопроницаемость стенок уменьшается вплоть до 10—30 м/сут.

Для предохранения дренажных труб от механического заиления применяют фильтры из всевозможных хорошо водопроницаемых материалов. Схемы укладки фильтров зависят от конструктивных особенностей труб, грунтовых условий, а также от свойств фильтрующего материала. Фильтры из сыпучих материалов (песчано-гравийная смесь, торфокрошка и т. п.), как правило, укладывают сплошным слоем различной толщины вокруг дренажных труб. Структурные фильтры из таких материалов, как стеклохолст, стекловата, стеклоткани, устраивают по различным схемам: сплошная обертка труб, укладка узких полос только вокруг стыков или сплошной полосы под трубами и поперечных полос над стыками. В фильтрационно устойчивых грунтах (суглинки и плотные торфяники) сыпучие и структурные фильтры иногда укладываются сплошным слоем или прерывисто (над стыками керамических труб) только сверху. В некоторых случаях дренажные трубы кладут вообще без фильтров. Следует отметить, что при использовании трубофильтров стыки меж-

ду трубами также необходимо защищать от возможного проникновения наносов в полость труб через стыковые зазоры. Для этой цели обычно применяют внутренние втулки или наружные муфты из различных (чаще полимерных) материалов или полосы фильтра из структурных материалов вокруг стыков.

ПОСТУПЛЕНИЕ ВОДЫ В ДРЕНЫ, ГРАДИЕНТЫ ФИЛЬТРАЦИОННОГО НАПОРА

Поступление воды в дренажи происходит только через перфорационные отверстия или стыковые зазоры, так как стенки применяемых в настоящее время труб практически не фильтруют (за исключением трубофильтров). Характер поступления воды (и наносов) в трубы определяется конструктивными их особенностями, наличием защитных фильтров и гидрогеологическими условиями. Как правило, дренажные трубы работают небольшой частью своего сечения. Только в период паводков и при наличии подпора со стороны открытой сети они кратковременно работают полным сечением, но и то не по всей длине. На довольно значительном протяжении от истока дренажи заполнены частично, ибо вода накапливается в них постепенно и степень наполнения увеличивается от истока к устью. При расчетных модулях стока только устьевые участки дренажных труб работают полным сечением.

Проведенными нами опытами в грунтовом лотке со стеклянной стенкой установлено [32], что в гончарные трубы вода, а вместе с ней и наносы в несвязных грунтах поступают преимущественно в зоне внутреннего смоченного периметра. При работе как частью, так и полным сечением до 70% песчаных наносов проникает через нижнюю зону щелей. Даже в пластмассовых трубах с равномерной по периметру и длине перфорацией наблюдается такая же закономерность. Поэтому широко применяемый ранее способ укладки фильтров в несвязных грунтах только сверху труб не мог надежно предохранить дренаж от заиливания.

При подходе грунтового потока к дренажным трубам происходит существенное его сжатие в продольном и поперечном направлениях (рис. 3). Дренируемая вода из довольно значительного объема грунта, исчисляемого десятками кубических метров, поступает в трубы через

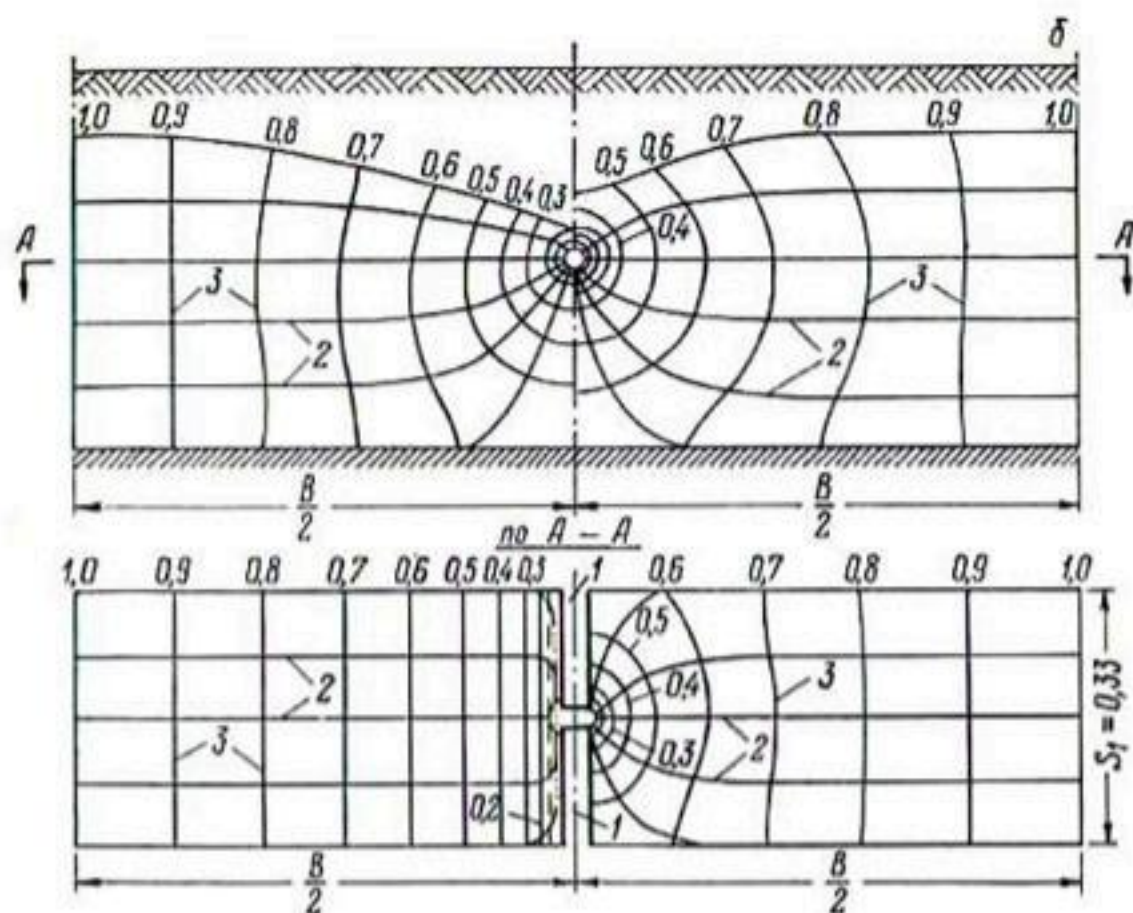


Рис. 3. Схема поступления воды в гончарные дрены (гидродинамическая сетка):

а — с фильтром; б — без фильтра; 1 — гончарная труба; 2 — линии тока; 3 — линии равных напоров.

щели и отверстия, размеры которых не превышают 3—4 мм, а площадь 15—20 см²/пог. м дрены. Все это обуславливает очень сильное сгущение линий гидродинамической сетки у щелей и развитие больших градиентов фильтрационного напора I в придренной области.

На рис. 4 представлен график зависимости градиентов напора от расстояний l до стыкового зазора (поперечной щели) гончарной дрены, уложенной без фильтра. Как видно из графика, градиенты возле водоприемных щелей достигают 20. Чем меньше ширина щели, тем градиенты больше. С удалением от щели градиенты напора резко уменьшаются. Область во-

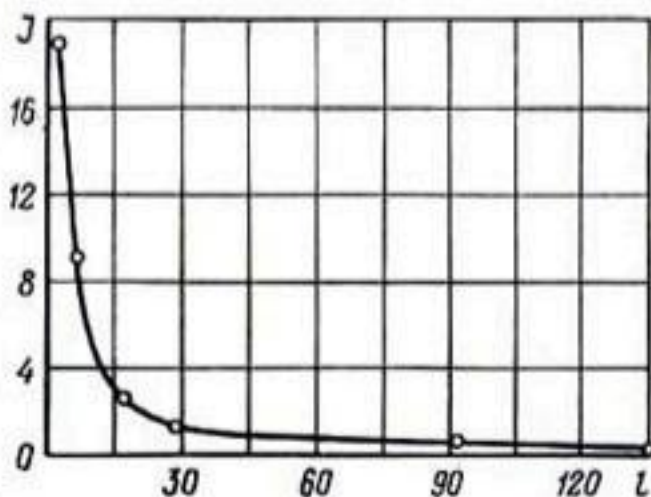


Рис. 4. Распределение градиентов фильтрационного напора.

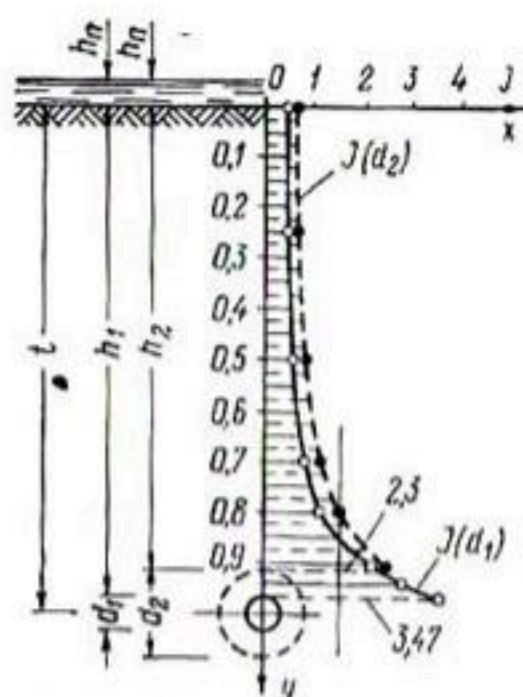


Рис. 5. Эпюры фильтрационных градиентов (подрусовая дрена).

круг дрены, где они превышают критические значения по фильтрационной прочности грунтов (так называемая активная зона выпора и суффозии), распространяется вокруг стыка на значительные расстояния.

Как показывают расчеты и лабораторные опыты, максимальная величина придренной зоны, в которой гради-

енты фильтрационного напора превышают критические по фильтрационной прочности грунта, имеет место тогда, когда грунтовые воды выходят на поверхность, а сами трубы уложены с фильтром или являются пористыми. В случае несовершенной дрены по характеру вскрытия пласта (трубы без фильтров — пространственная задача фильтрации) непосредственно у дренажных отверстий градиенты напора достигают очень больших значений, причем они резко затухают с удалением от щелей. Если трубы пористые (плоская задача фильтрации), то градиенты напора около дрен имеют меньшие значения, однако они гораздо медленнее затухают при удалении от труб. Область, где с точки зрения фильтрационной прочности грунтов градиенты напора превышают допустимые по выносу суффозионных частиц, во втором случае распространяются гораздо дальше. Отсюда опасность механического заиливания пористых труб вследствие суффозионного выноса частиц из толщи грунта значительно больше.

Для одиночной подрусовой дрены с пористыми стенками при глубоком залегании водоупора (рис. 5) скорость фильтрации можно определить по формуле В. В. Ведерникова [9]

$$v = u + iv = -i \frac{Q_{es}}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{t(t+d)}}{t(i+d) + z^2}, \quad (17)$$

$$Q_{es} = \frac{\pi k_{rp} (h + h_0)}{\text{Arth} \sqrt{\frac{t}{t+d}}}, \quad (18)$$

где t — расстояние от поверхности земли до дрены;

$h+h_n$ — напор над дренай (h_n — высота слоя воды над почвой);

d — диаметр дрена;

$z=x+iy$ — комплексная координата.

Градиенты фильтрационного напора $I = \frac{v}{k_{гр}}$ над дренай (прямая $o-y$, для которой $u=0$; $v=iv$; $x=0$; $z=-y$) из (17) выражаются следующей зависимостью:

$$I = \frac{(h+h_n) \sqrt{t(t+d)}}{\text{Arth} \sqrt{\frac{t}{t+d}} [t(t+d)-y^2]} \quad (19)$$

В табл. 4 приведены значения градиентов фильтрационного напора, вычисленные по (19), при следующих данных: $h=0,965$ и $0,925$; $h_n=0$; $t=1,0$; $d=0,07$ и $0,15$ м. В ней для сравнения приведены также результаты определения градиентов напора на приборе ЭГДА.

Таблица 4

Градиенты напора для подрусловой дрена

$y, \text{ м}$	Градиенты фильтрационного напора			
	при $d=0,07 \text{ м}$		при $d=0,15 \text{ м}$	
	по (19)	по методу ЭГДА	по (19)	по методу ЭГДА
0	0,46	0,45	0,63	0,55
0,25	0,49	0,50	0,68	0,70
0,50	0,61	0,70	0,82	0,80
0,70	0,82	0,80	1,12	1,30
0,80	1,16	1,40	1,45	1,50
0,91	2,05	2,50	2,30	4,30
0,94	2,72	4,70	—	—
0,96	3,47	—	—	—

Из таблицы и графиков рис. 5 видно, что непосредственно в зоне контакта грунта с дренай градиенты напора намного превышают допустимые по условию контактного выпора. Зона опасных градиентов (активная зона) распространяется на 110—150 мм от поверхности дрена.

Если в гидротехнических сооружениях путем изменения контура фильтрации или с помощью других конструктивных приемов можно варьировать градиентами фильтрационного напора в широких пределах и относительно несложно получить градиенты меньше допустимых по

условиям фильтрационной прочности грунтов, то в области горизонтального дренажа эти возможности крайне ограничены. Уменьшение градиентов на контакте грунта с дренажной (фильтром) можно достичь только путем увеличения диаметра труб (толщины фильтров). Однако, как видно из табл. 4, даже увеличение диаметра более чем в 2 раза не привело к желаемому результату. Градиенты на контакте оказались больше допустимых.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАИЛЕНИЯ

Заиление дренажа — процесс, включающий в общем случае отложение в полостях труб зерен грунта, солей и железистых соединений, закупорку водоприемных отверстий и кольматаж фильтров теми же веществами, кольматаж придренной зоны суффозионными частицами, вымываемыми из массива фильтрационным потоком, и, наконец, зарастание полостей труб корнями растений. Поэтому заиление дренажа подразделяется на следующие виды: механическое, химическое, химико-биологическое и биологическое. В каждом конкретном случае имеет место один из них или сочетание нескольких видов заиления.

Несвязные и связные грунты естественной и нарушенной структуры при достижении в околодренной области критических значений гидродинамических сил подвержены следующим фильтрационным деформациям: истечению грунтовой массы, суффозии, контактному выпору и контактному размыву.

Истечение грунтовой массы представляет собой такой вид деформационного разрушения, когда происходит потеря общей устойчивости грунта и вытекание его через водоприемные отверстия внутрь труб в виде вязкой жидкости. Деформации истечения имеют место только в несвязных грунтах при отсутствии фильтров и наличии определенных соотношений между гранулометрическим составом грунта и размерами отверстий в трубах. Истечение продолжается до образования около отверстий устойчивых сводов из более крупных частиц грунта или до полной закупорки труб. Оно может иметь место и тогда, когда фильтр вокруг труб уложен, но отверстия в нем столь велики, что не обеспечивается устойчивое сво-

дообразование. Правда, этот случай в практике встречается редко.

Под термином *сводообразование* понимается процесс накопления над стыками или отверстиями в трубах более крупных частиц, содержащихся в грунте, и образование устойчивых сводиков, которые препятствуют дальнейшему истечению грунтовой массы в полость труб.

Механическая суффозия представляет собой процесс увлечения и выноса фильтрационным потоком из толщи грунта мелких частиц (заполнителя). Она свойственна только отдельной категории несвязных грунтов, называемых суффозионными. Различают внутреннюю и внешнюю механическую суффозию. Первая характеризуется перемещением фильтрационным потоком мелких частиц внутри грунта и отложением их в околосредной области или в фильтре, что может вызвать кольматацию дренажа. При закольматировании придренной зоны (сводообразующей области) или дренажных фильтров водопримная способность дрен, их осушительный эффект существенно понижаются. При внешней механической суффозии мелкие частицы грунта выносятся в дрены и могут откладываться там, вызывая частичную закупорку труб.

Контактный выпор — разрушение грунта на контакте с водопримными отверстиями труб при отсутствии фильтров или на контакте с фильтром, характеризующееся выпором фильтрационными силами некоторого объема грунта внутрь труб или в поры фильтра. Деформации контактного выпора присущи связным и несвязным грунтам.

Контактный размыв представляет собой разрушение грунта продольным фильтрационным потоком на контакте его с более крупнозернистым фильтром и может развиваться в связных и несвязных грунтах. В мелиоративной практике явления контактного выпора и размыва встречаются редко и развиваются только в глинистых и торфяных грунтах при очень больших водопримных отверстиях в трубах и рыхлой траншейной засыпке.

В глинистых грунтах при градиентах напора меньше градиентов контактного выпора вследствие расклинивающего действия тонких прослоек воды происходит отделение над водопримными отверстиями дрен или порами фильтра некоторого объема грунта и выпадение его в трубы или фильтр. Это явление в отличие от контактного выпора названо *отслаиванием* грунта.

В трещинах глинистого грунта при большой скорости фильтрационного потока может происходить размыв. При этом сопротивляемость грунта размыву в состоянии, близком к воздушно-сухому, ничтожно мала по сравнению с сопротивляемостью грунтов, находящихся в состоянии полного водонасыщения.

Все вышеперечисленные процессы взаимно связаны и являются составной частью общего деформационного процесса грунтов, приводящего к механическому заилению дренажа.

Наряду с этим вследствие фильтрационных и физико-химических процессов, возникающих в грунте при осушении, в определенных условиях может происходить *химическое заиление* дренажа — вынос солей из массива и отложение их внутри труб, в перфорационных отверстиях, а также в фильтрах. В последнем случае в защитном материале происходит адсорбция солей, переносимых фильтрационным потоком. В грунтовой воде почти всегда присутствует то или иное количество окисного и закисного железа. При поступлении в трубы, а также в придренную зону под влиянием окислительных процессов закисное железо выпадает в осадок и забивает полости труб или колюматирует фильтры и придренную зону грунта.

Химико-биологическое заиление дренажа — закупорка полости труб, колюматаж фильтров и придренной области грунта различными солями и железистыми соединениями, а также продуктами жизнедеятельности железобактерий. Дело в том, что в полостях труб при наличии в грунтовой воде значительного (более 5 мг/л) количества закисного железа интенсивно развиваются железобактерии. Отходы их жизнедеятельности могут остаться в трубах и часто полностью их закупоривают. Некоторые авторы [54] 80—85% заиления дренажей железистыми соединениями относят за счет деятельности бактерий. Другие исследователи считают, что превалируют химические процессы. Ясности в этом вопросе пока нет.

К чисто биологическому заилению дренажа относятся процессы зарастания полости дренажных труб корнями растений. В засушливый период корни отдельных видов растений, в особенности близко расположенных от дренажных деревьев, проникают глубоко в почву и в поисках влаги нередко внутрь труб, частично или полностью забивая их. Характерно, что корни в трубах могут достигать очень большой плотности и длины.

Из всех видов заилиenia дренажа наибольшее распространение имеет кольматация в самом общем виде. При этом различают кольматацию придренной зоны грунта, вследствие отложения в ней суффозионных частиц, солей и продуктов жизнедеятельности бактерий, и кольматацию фильтров механический, химический и биологический (зарастание пор в результате жизнедеятельности микроорганизмов). Кольматация пор фильтра может быть контактной — закупорка пор на контактной поверхности и внутренним — закупорка пор в толще защитного материала.

Возникновение и развитие указанных выше видов заилиenia дренажа, степень и продолжительность отдельных фаз и процессов зависят от следующих факторов: гранулометрического состава грунта, его физико-химических и фильтрационных характеристик, формы и размеров водоприемных отверстий дренажных труб, граничных условий фильтрации, состава грунтовых вод, материала, из которого изготовлены трубы, свойств защитных фильтров и даже от технологии строительства дренажа. В заилиении дренажа могут превалировать один или два из перечисленных выше видов, но весьма часто они выступают в такой совокупности, оценить которую и разработать надежные способы защиты очень сложно.

УСЛОВИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ УКЛАДЫВАТЬ ДРЕНАЖ БЕЗ ФИЛЬТРОВ

Несвязные грунты. Фильтрационная прочность несвязных грунтов и степень заилиenia дренажа во многом определяются процессами сводообразования. Частицы скелета грунта не просыпаются (не вытекают) в полость труб в том случае, если в контактной области над водоприемными отверстиями образуются устойчивые сводики (рис. 6). По исследованиям А. Н. Патрашева и др. [40, 41, 38], наиболее прочны и устойчивы сводики, состоящие из двух одинакового диаметра частиц, которые на-

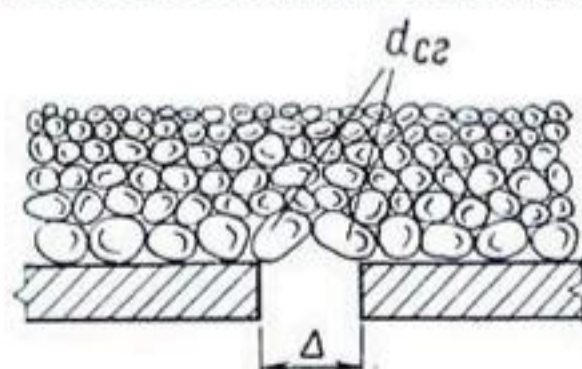


Рис. 6. Схема контактной области мелкозернистого грунта и дренажной трубы:
 Δ — ширина щели; $d_{сг}$ — диаметр сводообразующих частиц.

зываются сводообразующими ($d_{св}$). Вероятность их образования значительно выше, чем сводиков из трех и более частиц. Создаются они за более короткое время. Многочисленными экспериментами [40, 53] установлено, что устойчивое сводообразование на контакте со щелеобразными отверстиями в стенках труб и стыковыми зазорами между трубами происходит при соблюдении следующих условий:

$$\frac{\Delta}{d_{св}} \leq 1,8, \text{ или } d_{св} \geq 0,6\Delta, \quad (20)$$

где Δ — ширина щелей или стыковых зазоров.

Следовательно, минимальный диаметр сводообразующих частиц должен быть не более чем в 1,8 раза меньше ширины щели.

Если водоприемные отверстия в стенках труб имеют круглую форму, то устойчивое сводообразование происходит при диаметрах частиц грунта в 2,7 раза меньше диаметра отверстий ($D_{о.д}$). Условия сводообразования выражаются следующими зависимостями

$$\frac{D_{о.д}}{d_{св}^к} \leq 2,7, \text{ или } d_{св}^к \geq 0,36D_{о.д}, \quad (21)$$

где $D_{о.д}$ — диаметр круглых отверстий в дренажных трубах.

Сравнивая (20) и (21), видим, что условия сводообразования над круглыми отверстиями более благоприятны, чем над щелями. Отсюда по условию незаиляемости дренажа предпочтительнее в трубах (пластмассовых) устраивать перфорацию в виде круглых отверстий.

Наличие в грунте сводообразующих частиц еще не гарантирует непросыпаемости грунта в трубы и не исключает опасности механического заиления дрен. В процессе сводообразования решающее значение имеет процентное содержание в грунте сводообразующих частиц. При достаточном их количестве над отверстиями в трубах за короткий период образуются фильтры-сводки, препятствующие дальнейшему проникновению частиц скелета грунта в дренажи. Если же процентное содержание сводообразующих частиц невелико, то за период сводообразования трубы могут существенно заилиться. Многочисленными экспериментами [38, 44, 53] установлено, что для предотвращения опасного заиления дрен зернами окружающего грунта в его составе должно быть не ме-

нее 40% сводообразующих частиц, т. е. для труб со щелями (стыками) и круглыми отверстиями соответственно:

$$\left. \begin{aligned} d_{св}^м &= d_{60}, \text{ или } d_{60} \geq 0,6\Delta; \\ d_{св}^к &= d_{60}, \text{ или } d_{60} \geq 0,36D_{о.д}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Другими словами, если 60%-ный диаметр защищаемого грунта P_{60} больше или равен 0,6 ширины щелей в трубах Δ или 0,36 диаметра перфорации $D_{о.д.}$, то дренаж в этом грунте по условию занляемости можно укладывать без фильтров.

Правомерно поставить и обратную задачу: по заданному гранулометрическому составу грунта подобрать размеры водоприемных отверстий в дренажных трубах так, чтобы их можно было укладывать без фильтров (по условию непросыпаемости). Для этого по кривой гранулометрического состава находим диаметр частиц, больше которых в грунте содержится 40% по весу, т. е. d_{60} . По найденному диаметру d_{60} вычисляются необходимые размеры перфорации.

$$\Delta \leq \frac{d_{60}}{0,6}, \text{ или } D_{о.д.} \leq \frac{d_{60}}{0,36}. \quad (23)$$

Согласно рекомендациям А. И. Патрашева и Н. И. Хрисанова [45, 48, 53], выполнение условий сводообразования и предотвращения истечения грунтовой массы в полость труб не является еще достаточным основанием для укладки дренажа без фильтров. По их мнению, в суффозионных грунтах может происходить кольматация сводообразующей области выносимыми потоком суффозионными частицами. Чтобы избежать кольматации, рекомендуется [45, 48] выполнить условие $\xi \leq 5$, которое определяется по зависимости

$$\xi = 2 + \frac{\Delta}{5d_{60}}, \quad (24)$$

откуда $d_{60} \geq 0,067\Delta$. Однако d_{60} по условию недопущения истечения грунтовой массы (сводообразования) должно быть равно $0,6\Delta$, но никак не $0,067\Delta$. Кроме того, А. Е. Лубочковым [46] убедительно доказывается, что кольматация сводообразующей области суффозионными частицами вообще физически невозможен, ибо скорости движения воды в пределах сводов будут больше, чем в массиве осушаемого грунта, а коэффициенты сопротивле-

ния выносу мелких частиц в сводообразующей области меньше, чем в грунте.

Итак, для того чтобы дренажные трубы в несвязном грунте можно было укладывать без фильтров, необходимым и достаточным условием является (22).

Для выяснения вопроса, имеется ли и в каких пределах реальная возможность укладывать дренаж в несвязных грунтах без фильтров, мы проанализировали результаты массовых анализов песчаных грунтов осушаемых объектов в БССР. Коэффициенты неоднородности грунта η вычисляли по формуле (1), диаметры суффозионных частиц d_{ci} по (12), диаметры сводообразующих частиц $d_{св}$ по (22). Всего обработано более 600 анализов грунтов наиболее типичных мелиоративных объектов.

В рассматриваемом аспекте наибольший интерес представляет гранулометрический состав. Результаты проведенного анализа свидетельствуют, что в большинстве генетических групп песчаных грунтов Белоруссии преобладают мелкозернистые и разномзернистые пески с преобладанием мелких фракций. Наибольшее количество мелкозернистых песков зафиксировано среди отложений южной зоны республики (в Полесье). Содержание фракций $d < 0,4$ мм здесь составляет более 40—60%. Все генетические типы песчаных грунтов водосборов основных полесских рек нередко содержат значительные количества пылеватых ($d = 0,05—0,01$ мм) и глинистых частиц ($d \leq 0,005$ мм). В северо-западной зоне республики наряду с преобладанием мелкозернистых встречаются средне- и крупнозернистые пески. Гравелисто-галечниковых отложений в верхней покровной зоне (глубиной до 2,5—3,0 м) на мелиоративных объектах практически нет.

Все генетические группы песчаных грунтов отличаются значительной

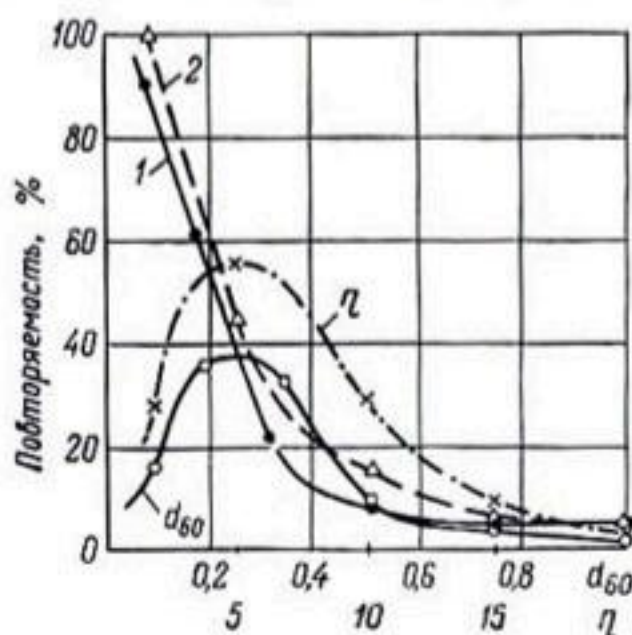


Рис. 7. Распределение сводообразующих (d_{60}) частиц и коэффициентов неоднородности (η) несвязных грунтов мелиоративных объектов БССР:

1, 2 — кривые обеспеченности соответственно сводообразующих частиц и коэффициентов неоднородности.

однородностью (рис. 7): 55,2 % имеют коэффициент неоднородности $\eta \leq 5$, у 11,5 % он колеблется в диапазоне $\eta = 10-20$ и только 4,3 % из всех исследованных грунтов характеризуются высоким коэффициентом неоднородности ($\eta > 20$). Грунты с коэффициентом неоднородности $\eta \leq 10$ составляют 84,2 %. Наиболее однородные грунты имеются в зоне Полесья, менее сортированные — в Гродненской и Витебской областях.

Все без исключения несвязные грунты мелиоративных объектов Белоруссии в той или иной степени являются суффозионными (для примера в табл. 5 и 6 приведена часть проанализированного материала). Однако количественное содержание суффозионных частиц в грунтах, их максимальные диаметры колеблются в довольно значительных пределах. Практически несуффозионных песчаных грунтов ($P_{d_{ci}} \leq 3\%$) имеется в среднем 33 %. К категории практически несуффозионных и малосуффозионных ($P_{d_{ci}} \leq 5\%$) относится более 60 % всех исследованных грунтов. Около 30 % грунтов содержат 5—10 % суффозионных частиц. Максимальное содержание суффозионных частиц, согласно проведенным расчетам, не превышает 13 %, а число таких случаев менее 2 %.

Преобладание на мелиоративных объектах хорошо сортированных (однородных) и мелкозернистых песчаных отложений обуславливает то обстоятельство, что диаметры суффозионных частиц имеют очень малые размеры. Как видно из табл. 6 и рис. 8, наиболее распространенным максимальным диаметром суффозионных частиц является $d_{ci}^{\max} = 0,03$ мм. В 92,3 % из общего числа проанализированных грунтов $d_{ci}^{\max} \leq 0,05$ мм, а в 61,7 % — $d_{ci}^{\max} \leq 0,03$ мм. Грунтов, у которых максимальные диаметры суффозионных частиц превышают 0,06 мм, имеется 4,4 %, и они относятся к категории средне- и крупнозернистых.

На рис. 7 представлено распределение сводообразующих частиц d_{60} . Из него видно, что преобладают сводообразующие частицы малого диаметра: $d_{60} < 0,35$ мм составляет 76,5 % и только у 8,2 % из всех грунтов $d_{60} > 0,75$ мм.

Перфорация в пластмассовых дренажных трубах колеблется в пределах $d_0 = 1,0-1,5$, $\tau_1 = 0,8-1,1$ мм. Исходя из этого диаметры сводообразующих частиц должны быть не менее 0,6 мм. В общем объеме таких грунтов имеется не более 10 % (рис. 8). Как указывалось ранее (см. рис. 2),

Таблица 5

Характеристики несвязных грунтов (Брестская и Гомельская области)

Место отбора образцов	Разновидность песка	Диаметры частиц, мм					Коэффициент неоднородности η	Диаметр суффозионных частиц $d_{\text{сф}}$	Процент суффозионных частиц $P_{\text{сф}}$	Пористость n_1	Характеристика суффозионности грунта
		d_0	d_2	d_{10}	d_{17}	d_{40}					
Бор-Дубонец, шурф 11	Крупно-зернистый	0,010	0,070	0,180	0,260	1,20	6,67	0,097	4	0,37	Малосуффозионный
— » —	Средне-зернистый	0,010	0,022	0,100	0,200	0,50	5,0	0,070	8	0,38	Суффозионный
— » —	Разно-зернистый*	0,005	0,060	0,009	0,016	0,06	6,72	0,006	4	0,37	Малосуффозионный
— » —	Тонко-зернистый	0,005	0,007	0,014	0,025	0,07	5,00	0,009	4	0,38	»
— » —	Мелко-зернистый	0,002	0,010	0,040	0,055	0,20	7,00	0,019	4	0,38	»
— » —	Тонко-зернистый	0,001	0,004	0,013	0,050	0,10	7,70	0,005	4	0,37	»
— » —	Мелко-зернистый	0,005	0,053	0,065	0,075	0,19	2,82	0,024	3	0,41	Практически нессуффозионный
— » —	Мелко-зернистый	0,005	0,035	0,056	0,063	0,14	2,50	0,020	3	0,42	»
Колхоз им. Горького, шурф 18/18	Мелко-зернистый	0,005	0,006	0,013	0,018	0,18	3,80	0,007	4	0,31	Малосуффозионный
— » —	Мелко-зернистый	0,005	0,009	0,030	0,055	0,19	6,32	0,020	8	0,37	Суффозионный
— » —	Пылеватый	0,002	0,009	0,012	0,013	0,06	4,50	0,004	3	0,39	Практически нессуффозионный

Безуевский канал, шурф 1	Пылеватый	0,002	0,005	0,008	0,011	0,06	8,45	0,004	3	0,36	Практически несуффузионный
» 2	Мелко- зернистый	0,005	0,012	0,022	0,050	0,09	4,09	0,015	6	0,31	Суффузионный
Боршево-Заболотский, шурф 1	Мелко- зернистый	0,005	0,009	0,052	0,061	0,16	3,72	0,019	4	0,41	Малосуффузионный
» 2	Тонко- зернистый	0,005	0,050	0,060	0,075	0,20	3,34	0,025	3	0,40	Практически несуффузионный
» 3	Мелко- зернистый	0,005	0,006	0,016	0,038	0,12	7,50	0,014	9	0,36	Суффузионный
» 4	Мелко- зернистый	0,005	0,051	0,060	0,071	0,20	3,34	0,024	3	0,40	Практически несуффузионный
Боровики, шурф 7	Разно- зернистый*	0,005	0,015	0,060	0,080	0,25	4,17	0,025	4	0,39	Малосуффузионный
» 8	Средне- зернистый	0,005	0,055	0,095	0,115	0,30	3,16	0,038	3	0,40	Практически несуффузионный
» 9	Средне- зернистый	0,005	0,020	0,065	0,100	0,34	5,22	0,031	4	0,38	Малосуффузионный
» 10	Разно- зернистый	0,005	0,050	0,080	0,110	0,22	2,75	0,040	3	0,41	Практически несуффузионный

* С преобладанием мелких фракций.

Таблица 6

Распределение суффозионных частиц в несвязных грунтах мелiorативных объектов БССР

Область	Количество по объек- там	В том числе содержат суффозионные частицы, % (P_{dcl})								Имеется коэффици- ент неод- нороднос- ти γ_{10}	
		<3	3-5	5-8	8-10	10-12	12-14	>5	5-10		10-14
Брестская	$\frac{69}{100}$	$\frac{23}{37,7}$	$\frac{23}{33,4}$	$\frac{9}{13}$	$\frac{4}{5,8}$	$\frac{3}{4,3}$	$\frac{4}{5,8}$	$\frac{49}{71,1}$	$\frac{13}{17,8}$	$\frac{7}{10,1}$	$\frac{6}{8,7}$
Витебская	$\frac{20}{100}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{5}{25}$	$\frac{9}{45}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{8}{40}$	$\frac{10}{50}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{4}{20}$
Гомельская	$\frac{29}{100}$	$\frac{16}{55}$	$\frac{5}{17,3}$	$\frac{7}{24,2}$	$\frac{1}{3,5}$	—	—	$\frac{21}{72,3}$	$\frac{8}{27,7}$	—	$\frac{4}{13,8}$
Гродненская	$\frac{16}{100}$	$\frac{6}{37,5}$	$\frac{2}{12,5}$	$\frac{4}{25}$	$\frac{3}{19}$	—	$\frac{1}{6}$	$\frac{8}{50}$	$\frac{7}{43}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{4}{25}$
Минская	$\frac{26}{100}$	$\frac{6}{23}$	$\frac{11}{42,5}$	$\frac{3}{11,5}$	$\frac{2}{7,7}$	$\frac{3}{11,5}$	$\frac{1}{3,8}$	$\frac{17}{65,5}$	$\frac{5}{19,2}$	$\frac{4}{15,3}$	$\frac{8}{30,8}$
Могилевская	$\frac{23}{100}$	$\frac{4}{17,4}$	$\frac{4}{17,4}$	$\frac{4}{17,4}$	$\frac{9}{39,2}$	$\frac{2}{8,6}$	—	$\frac{8}{34,2}$	$\frac{13}{56,2}$	$\frac{2}{8,6}$	$\frac{3}{11,5}$
Всего	$\frac{183}{100}$	$\frac{61}{33,3}$	$\frac{50}{27,3}$	$\frac{36}{19,8}$	$\frac{20}{10,9}$	$\frac{9}{4,9}$	$\frac{7}{3,8}$	$\frac{111}{60,7}$	$\frac{56}{30,6}$	$\frac{17}{8,7}$	$\frac{29}{15,8}$

Примечание. В числителе дано число случаев, в знаменателе — их процент.

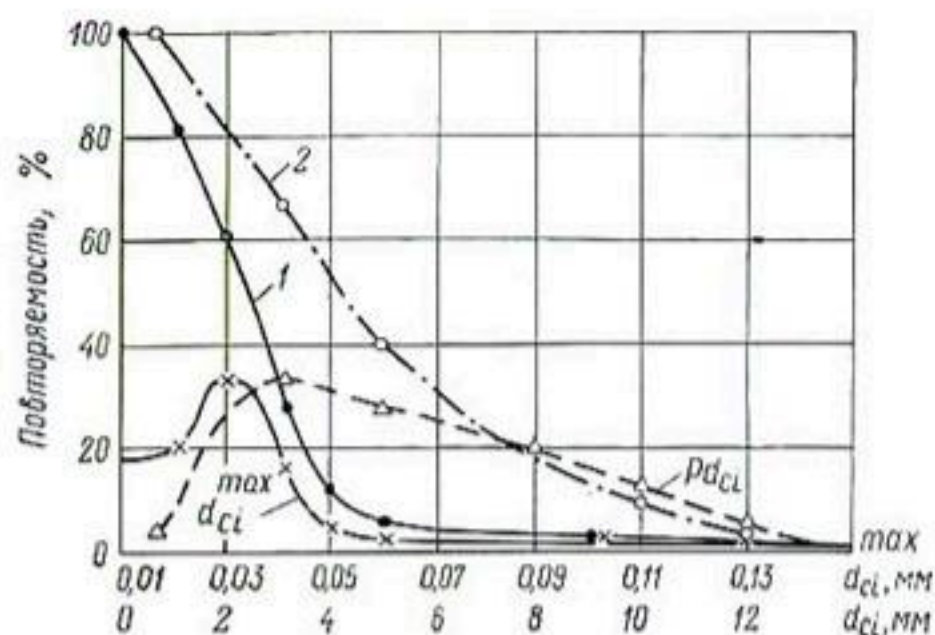


Рис. 8. Распределение суффозионных частиц в несвязных грунтах мелиоративных объектов БССР:

1, 2 — кривые обеспеченности соответственно максимальных диаметров суффозионных частиц и процентного их содержания.

ширина стыковых зазоров между керамическими трубами колеблется в очень больших пределах и является величиной случайной. Если даже предположить, что она не превышает 2 мм, то сводообразующие частицы должны иметь размер $d_{cr}=1,2$ мм. Грунты, у которых $d_{60} \geq 1,2$ мм, в общем объеме мелиорируемых имеется не более 5%.

Таким образом, только на незначительной части (5—10%) несвязных грунтов дренаж можно закладывать без защитных от заиления фильтров. Учитывая частую сменяемость видов грунта по осушаемой площади и недостаточное количество проводимых изысканий, практически закладывать гончарный дренаж без фильтров в несвязных грунтах недопустимо. Что касается дренажа из пластмассовых труб, то для укладки их без фильтров максимальные размеры перфорации в большинстве случаев не должны превышать 0,4 мм.

Связные грунты. Супеси и пылеватые суглинки относятся к грунтам, обладающим определенным сцеплением, и содержат большое количество пылеватых частиц. Фильтрационная прочность их гораздо выше, чем несвязных грунтов, а механическая суффозия по геометрическим условиям практически невозможна. Вместе с тем неуплотненные супеси и пылеватые суглинки при насыщении водой быстро размокают, становятся легко подвижными и свободно проникают в полость труб при отсут-

вии защитных фильтров. Следует иметь в виду, что по существующей технологии трубы укладывают на дно траншей в желобок, а сверху присыпают грунтом из пахотного слоя на высоту 20—30 см. Так что только одна треть периметра труб соприкасается с грунтом ненарушенной структуры. Верхняя часть на $\frac{2}{3}$ периметра соприкасается с неуплотненным грунтом. Исходя из изложенного, в супесях и пылеватых суглинках укладывать дренажные керамические трубы без фильтров недопустимо.

Глины и суглинки относятся к связным грунтам и в ненарушенном состоянии обладают высоким сцеплением и большой фильтрационной прочностью. Наличие связи между отдельными частицами и микроагрегатами затрудняет возникновение фильтрационных деформаций в этих грунтах, которые обычно выражаются в отрыве и отслаивании агрегатов частиц на контакте с водоприемными отверстиями в дренажных трубах.

Допустимые поперечные размеры водоприемных отверстий по условию отрыва и отслаивания агрегатов глинистых грунтов определяются по зависимости В. С. Истоминой [19]

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{0,214}{I + 1}} \quad (25)$$

или Г. К. Праведного

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{0,34}{\varphi I + \cos \theta}}, \quad (26)$$

$$\varphi = 0,17 \sqrt{I_p - 1}, \quad (27)$$

где $\bar{\delta}$ — поперечный размер отверстия в дренажной трубе (ширина щели, диаметр круглого отверстия), см;

I_p — расчетный градиент фильтрационного напора в придренной зоне, $I_p = 2—5$;

I — градиент напора у отверстия;

θ — угол между направлением скорости фильтрации и силой тяжести.

В мелиоративном дренаже градиенты напора достигали 10—20 и более, поэтому допустимые размеры водоприемных отверстий колеблются в среднем в пределах 3,5—5,6 мм. Следовательно, гончарный и пластмассовый

дренаж по условию заполнения полости труб минеральными частицами в глинистых грунтах допускается укладывать без фильтров. Однако, как указывалось выше, дрены присыпаются грунтом нарушенной структуры. В нем имеется много макропор, возникает возможность размыва грунта фильтрационным потоком и выноса его в трубы. Поэтому верхнюю часть труб (минимум на $\frac{2}{3}$ периметра сечения) необходимо закрывать защитным фильтром.

Торфяники относятся к несущим грунтам. Фильтрационные деформации их проявляются в виде выпора и зависят от градиентов напора, структуры торфа, его плотности и степени разложения органического вещества. Фильтрационная прочность непригруженного торфа нарушенной структуры довольно низкая, и деформации выпора происходят при величинах градиентов, определяемых зависимостью

$$I_{кр} = (1 - n_1)(\gamma_y - 0,9). \quad (28)$$

При плотности частиц торфа $\gamma_y = 1,56 - 1,65$ г/см³ и пористости $n_1 = 0,8 - 0,9$ $I_{кр} = 0,06 - 0,15$. В придренной области действительные градиенты напора во много раз выше.

Торфы ненарушенной и нарушенной структуры в уплотненном состоянии несущими при всех практически встречаемых величинах гидравлических градиентов. Единственным возможным видом их фильтрационных деформаций на границе с водоприемными отверстиями труб является контактный выпор. Величина разрушающих гидравлических градиентов зависит от размеров водоприемных отверстий в трубах. По исследованиям Ю. Ф. Буртыса [8], разрушающие градиенты при среднем диаметре отверстий $D = 1$ см для торфа ненарушенной структуры $I_{кр} = 50$.

Допустимые размеры водоприемных отверстий в дренах, уложенных без фильтра в ненарушенном уплотненном низинном торфе средней степени разложения, могут быть определены по формуле

$$D = \frac{1}{k_3} \sqrt{\left(\frac{50}{I_p - I_{кр}}\right)^3} \text{ мм}, \quad (29)$$

где I_p — расчетный градиент напора в придренной зоне, для мелноративного дренажа $I_p = 2 - 5$;
 k_3 — коэффициент запаса, принимаемый равным 4—5.

Диаметры водоприемных отверстий дрен по условиям фильтрационной прочности торфа (29) могут достигать 13—15 мм. Действительные размеры перфорации в трубах и зазоры в стыках значительно меньше. Казалось бы, в торфяниках допустимо укладывать дренаж без фильтров. Однако следует иметь в виду следующие обстоятельства. При отрывке дренажных траншей происходит разрушение торфа, крошение его на куски различных размеров. Обратная присыпка дрен состоит из весьма рыхлого торфа нарушенной структуры. В ней имеется множество фильтрационных ходов довольно крупных размеров, мелкие частицы и агрегаты потоком дренируемой воды могут приноситься к трубам и попадать внутрь. Часть из них легко выносятся из дрен ($\gamma = 1,02—1,05$ г/см³), а более крупные накапливаются в трубах или около водоприемных отверстий. Поскольку частицы торфа часто имеют структуру относительно длинных волокон, они нередко почти полностью перекрывают водоприемные отверстия в трубах, вызывая их кольматацию. Осушительное действие дренажа резко уменьшается. Поэтому верхнюю часть труб ($\frac{2}{3}$ периметра) необходимо защищать фильтром. Нижнюю часть труб (не более $\frac{1}{3}$ периметра) в плотных торфах можно не закрывать фильтром, так как в этой зоне грунт находится в ненарушенном состоянии и фильтрационная прочность его очень высокая.

Итак, по условию фильтрационной прочности грунтов укладка гончарных труб без фильтров возможна в очень ограниченных случаях (средне- и крупнозернистые пески при тщательном соблюдении допустимых размеров стыковых зазоров). В плотных торфяниках, глинах и суглинках фильтр требуется только сверху.

САМООЧИСТКА ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ ОТ НАНОСОВ

При отсутствии фильтров или некачественном выполнении защитных мероприятий в дренажные трубы в начальный период их работы может проникать достаточно большое количество наносов. Состав их практически не будет отличаться от состава грунта придренной зоны. Если уклоны дренажных линий и модули стока не обеспечивают скоростей движения воды в трубах больше критических на размыв, то очистка дрен от наносов происходить не будет. При достаточно больших модулях

дренажного стока, когда трубы работают полным или почти полным сечением, и достаточных уклонах дренажных линий создаются скорости воды, при которых происходит перемещение наносов и частичная или полная самоочистка труб.

Интенсивность размыва и скорость перемещения наносов в трубах определяются, с одной стороны, величиной донной скорости потока, которая зависит от уклонов дренажных линий, внутренней шероховатости труб и степени их наполнения, с другой — крупностью частиц отложившихся наносов. Детальные и всесторонние исследования по размывающим скоростям и транспортирующей способности потока в дренажных трубах пока отсутствуют. К. Ф. Алеканд изучил распределение скоростей в гончарных трубах диаметром 75 мм и предложил эмпирическую зависимость для размывающих средних скоростей потока:

$$v_{кр} = \frac{0,208d^{0,65}}{0,68\left(\frac{h}{D}\right)^2 - \frac{h}{D} + 1}, \quad d < 0,25 \text{ мм}; \quad (30)$$

$$v_{кр} = \frac{1,6d^{0,296}}{0,68\left(\frac{h}{D}\right)^2 - \frac{h}{D} + 1}, \quad 0,25 \leq d \leq 1,5 \text{ мм}, \quad (31)$$

где D — внутренний диаметр труб, м;

h — высота наполнения, м;

d — диаметр зерен песка, м.

Указанные зависимости получены на основе экспериментальных формул В. С. Кнороза [24] для плоского потока. Наши расчеты и сравнения с другими методами показали, что (30) даст завышенные результаты, особенно для частиц $d \leq 0,1$ мм.

Транспортирующую способность потока в дренажных трубах К. Ф. Алеканд рекомендует определять по зависимости

$$\lg m = \frac{a}{(v - v_{кр})^b}, \quad (32)$$

где m — расход наносов, см³/с;

v — средняя скорость воды в дренах, см/с.

Параметры a и b зависят от толщины слоя отложений в трубах и характера перемещения наносов. Для незаиленных труб $a = -5,84$, $b = 0,123$, для частично заиленных ($h_d = 10$ и $d > 0,5$ мм) $a = -4,88$, $b = 0,141$. Если слой

отложений состоит из мелкозернистых наносов ($d < 0,5$ мм), то транспортирующая способность потока при донно-грядовом перемещении наносов сравнительно постоянна: $m = 10^{-7}$ м³/с. Подсчеты показывают, что при донно-грядовом перемещении наносов и практически встречающихся уклонах дренажных линий и фактических модулях стока для самоочистки дрен от наносов требуется несколько лет. При переходе наносов во взвешенное состояние транспортирующая способность потока увеличивается в десятки раз.

Опыты П. В. Жагариса [14] показали, что при движении наносов в керамических трубах в виде донных гряд резко снижается пропускная способность дрен по сравнению с незаиленными. Размыв наносов возможен при скоростях воды в трубах 0,25—0,35 м/с. Отложение наносов в трубах возможно только в том случае, если частицы грунта, проникшие с водой через водоприемные отверстия, будут оседать. Это происходит при скоростях воды в дренах, не обеспечивающих взвешивание и перемещение наносов. Многочисленными исследованиями в открытых потоках и трубопроводах [10, 13] установлено, что движение наносов зависит от трех основных факторов: геометрических размеров частиц, выражаемых через их средний диаметр; скорости движения воды и положения частицы в потоке (находится она во взвешенном состоянии или нет). Наносы попадают в дренах во взвешенном состоянии. Дальнейшее положение частицы в потоке определяется соотношением между гидравлической ее крупностью u , под которой понимается скорость равномерного осаждения частицы в неподвижной воде, и величиной вертикальной составляющей пульсационных скоростей w и $w_{\max}$.

По отношению u и w все частицы можно разделить на три категории. Если гидравлическая крупность частиц u меньше среднего значения абсолютной величины составляющей пульсационной скорости w , то они устойчиво находятся во взвешенном состоянии и легко выносятся из дрен. Такие частицы относятся к первой группе. Если же гидравлическая крупность наносов u больше w , но меньше $w_{\max}$, то их взвешивание оказывается относительно неустойчивым. Оно обусловлено временным усилением вертикальных пульсационных токов. Частицы могут оседать на дно дрен, и для их выноса необходимы скорости воды намного большие, чем для частиц первой группы.

Наконец, к третьей группе относятся частицы, гидравлическая крупность которых n выше максимальной величины вертикальной составляющей пульсационной скорости $w_{\max}$. Такие частицы не взвешиваются, однако под влиянием продольной составляющей вектора скорости они могут перемещаться. Естественно, что для этого требуются гораздо большие скорости потока. Скорость перемещения частиц по дну в десятки (до 30 и более) раз меньше, чем взвешенных. Для очистки мелноразливного дренажа практическое значение имеет вынос частиц во взвешенном состоянии.

По А. В. Караушеву [22], для выноса взвешенных частиц средние скорости потока должны удовлетворять следующему соотношению:

$$v_{\text{ср}} \geq n \sqrt{N}, \quad (33)$$

где n — гидравлическая крупность частиц;

N — безразмерная величина, характеристическое число, выражающее динамическое подобие турбулентных потоков

$$N = \frac{MC}{g}, \quad (34)$$

C — коэффициент Шези;

g — ускорение силы тяжести;

M — коэффициент, равный $2m$, изменяющийся от 22,3 (по Буссинеску) до 24 (по Базену).

Для $10 \leq C \leq 60$ зависимость между M и C линейная

$$M = 0,7C + 6. \quad (35)$$

Коэффициент C может быть определен по известным формулам, например по формуле Базена

$$C = \frac{87}{1 + \frac{n_0}{\sqrt{R}}}, \quad (36)$$

где n_0 — коэффициент шероховатости, для керамических труб $n_0 = 0,27$;

R — гидравлический радиус, равный $\frac{D}{4}$ при полном заполнении труб, при высоте наполнения, равной h_0

$$R = \frac{D}{4} \cdot \frac{180^\circ}{\arccos \left(1 - \frac{2h_0}{D} \right)}. \quad (37)$$

В табл. 7 представлены значения критических средних скоростей потока и необходимые уклоны дренажных линий для труб диаметром 50 и 100 мм, вычисленные по (33) — (37). Из таблицы видно, что даже при самых минимальных уклонах дренажных линий, применяемых в мелиоративной практике, и наполнении труб, равном $\frac{D}{4}$, частицы диаметром $d \leq 0,1$ мм должны выноситься из дрен во взвешенном состоянии. Это подтверждается также анализом мехсостава наилка в трубах, полученным Лаурсеном [66] при раскопках дренажа, и нашими лабораторными опытами. Для выноса частиц диаметром $d = 0,3$ мм необходимы уклоны $i = 0,005—0,01$ при половинном наполнении труб и $i = 0,003—0,006$ при полном. Для выноса частиц, имеющих $d \geq 0,4$ мм, нужно, чтобы $i \geq 0,01—0,03$. Практически частицы $d \geq 0,3$ мм откладываются в трубах.

Мелиоративный дренаж в гумидной зоне укладывается с уклонами $i = 0,002—0,005$ и лишь в исключительных

Таблица 7

**Критические скорости воды и необходимые уклоны дрен
для выноса частиц грунта из труб**

Диаметры частиц d , мм	Гидравличес- кая круп- ность n , см/с	Критическая средняя скорость выноса частиц $v_{кр}$, см/с			Необходимые уклоны дрен i		
		$\frac{h}{D} = 1$	$\frac{h}{D} = \frac{1}{2}$	$\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$	$\frac{h}{D} = 1$	$\frac{h}{D} = \frac{1}{2}$	$\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$

Диаметры труб $D_{ин} = 100$ мм

0,10	0,50	4,84	4,18	3,42	0,00005	0,00016	0,00031
0,15	0,82	7,95	6,87	5,62	0,00012	0,00042	0,00085
0,20	1,50	14,53	12,55	10,26	0,0004	0,0014	0,00174
0,30	2,77	26,80	23,90	18,93	0,0028	0,0048	0,00590

Диаметры труб $D_{ин} = 50$ мм

0,10	0,50	3,92	3,57	2,68	0,0002	0,0003	0,0007
0,15	0,82	6,43	5,53	4,40	0,0005	0,0009	0,0018
0,20	1,50	11,78	10,10	8,04	0,0017	0,0030	0,0059
0,30	2,77	21,73	18,68	14,85	0,0060	0,0100	0,0200

Примечание. Гидравлическая крупность частиц взята при температуре воды $9—12^\circ \text{C}$, $\frac{h}{D}$ — степень наполнения труб водой.

случаях $i=0,008-0,01$. Модули дренажного стока редко превышают $1,0-1,5$ л/с · га. Отсюда скорости воды в дренах таковы, что частицы $d \geq 0,3$ мм не выносятся из труб. Все это обуславливает неизбежность образования наилка в трубах (их механическое заиливание) в том случае, если дренаж уложен без фильтров в грунтах, в которых не обеспечивается быстрое сводообразование над водоприемными отверстиями труб.

Обследование дренажных систем, заложенных в песчаных грунтах (табл. 8), подтверждает указанное выше положение. При довольно значительных уклонах дренажных линий заиливания, как правило, не обнаружено. При минимальных уклонах оно часто было недопустимо большим. При $i=0,001-0,0035$ заиливание составило $2,4-3,5$ см, при $i=0,009$ были обнаружены только следы ила. Аналогичная картина имела место и на других объектах.

Таким образом, вероятность самоочистки дренажных труб от песчаных наносов при $i \leq 0,005$ довольно низкая. Гарантирован только вынос частиц $d \leq 0,1$ мм. Поэтому защита дренажа от механического заиливания в песчаных грунтах обязательна, фильтр должен быть уложен вкруговую по всему периметру.

С другой стороны, суффозионные частицы, которые должны проникать в трубы, иначе они будут кольматировать фильтры, всегда выносятся из дрен. Обусловлено

Таблица 8

Заиливание дрен на объекте «Лунинец»

Номер коллектора	Номер дрены	Количество шурфов	Диаметр труб $D_{\text{шт}}$, см	Ширина стыкового зазора τ_1 , мм	Уклон дрены i	Фильтр	Высота наилка в трубах, см
2	—	3	10	0,5—1,0	0,001—0,003	Мох сверху на стыках труб	2,0—3,5
2	5	1	5	1,0	0,0025	То же	2,4
	—	1	5	1,0	0,002	»	2,0
	—	1	5	1,0—2,0	0,002	»	2,0
	—	1	5	1,0—3,0	0,0025	»	1,5
	—	1	5	1,0	0,0035	»	1,0
	—	1	5	1,0	0,0025	»	1,5
	3	6	5	1,0—2,0	0,009	»	Нет

это тем, что диаметры суффозионных частиц колеблются в пределах 0,03—0,05, очень редко превышая 0,09 мм (см. табл. 6 и рис. 8). Для таких частиц нужны транспортирующие скорости в пределах 3—5 см/с, и они всегда обеспечены в мелиоративном дренаже.

В последнее время начал внедряться так называемый безуклонный дренаж при $i = 0,001—0,0005$ и менее. В этом случае выноса даже мелких частиц потоком воды может не быть. Поэтому нужна очень тщательная защита такого дренажа от механического заиления, а при опасности заиления железистыми соединениями (содержание закисного железа в грунтовой воде более 5 мг/л) безуклонный дренаж вообще устраивать не рекомендуется. Надежных и долговечных способов защиты от «заохривания» дренажа пока нет. Для самоочистки дренажа от железистых соединений нужны скорости воды 35 см/с и более. При указанных уклонах дрен такие скорости не будут обеспечиваться.

ПОДБОР И РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТРУБЧАТОГО ДРЕНАЖА

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗАЩИТНЫМ ФИЛЬТРАМ

Все применяемые в настоящее время фильтры дренажных систем можно разделить на две группы: фильтры из сыпучих материалов, к которым относятся песчано-гравийные смеси, щебень, разнозернистые пески, шлак и др., и структурные — мох, торф, стеклохолст, стекловата, стеклоткани и др. Указанные группы материалов резко отличаются по своим физико-техническим свойствам, и требования, предъявляемые к ним, различны. В общем случае фильтр должен сам не проникать (не просыпаться) через отверстия дренажных труб, не пропускать частицы скелета осушаемого грунта, не кольматироваться и не создавать дополнительных сопротивлений поступлению воды в дрены. Основным требованием, предъявляемым к фильтрам из сыпучих материалов, является обеспечение условий сводообразования над водоприемными отверстиями в дренажных трубах и на контакте фильтра с осушаемым грунтом. Другими словами, сыпучий фильтр должен иметь достаточное количество

сводообразующих частиц и вполне определенные размеры пор (не более $1,8 d_{60}$).

Фильтры из структурных материалов при укладке в суффозионных грунтах должны обеспечить условия непросыпаемости частиц скелета осушаемого грунта и неcolmатирuемости самого фильтра. Для этого необходимо, чтобы поры фильтра, с одной стороны, свободно пропускали суффозионные частицы, влекомые фильтрационным потоком, с другой — над порами должно произойти сводообразование из частиц скелета грунта. Следовательно, размеры пор структурного фильтра должны иметь вполне определенные границы, соответствующие заданным грунтовым условиям.

Общим и важным требованием к фильтрам из сыпучих и структурных материалов является их высокая водопроницаемость. Если дренаж укладывается в несвязных минеральных грунтах, то водопроницаемость фильтров после завершения деформационных процессов в них и частичнойcolmатации должна быть в 5 и более раз выше водопроницаемости осушаемого грунта, т. е.

$$\frac{k_{\text{ф}}}{k_{\text{гр}}} \geq 5. \quad (38)$$

В случае укладки дренажа в глинистых грунтах необходимым условием по водопроницаемости фильтра является

$$\frac{k_{\text{ф}}}{k_{\text{гр}}} \geq 20. \quad (39)$$

Кроме указанных требований, дренажные фильтры должны обладать достаточной прочностью и долговечностью, высокой химической и биологической стойкостью, быть транспортабельными и экономичными, позволять применение механизации при их укладке.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕНАЖНЫХ ФИЛЬТРОВ

В качестве защитных фильтров дренажа применяются самые различные материалы органического и неорганического происхождения. К органическим фильтрам относятся: мох, моховой очес, торфокрошка, солома, вереск и др., к неорганическим — естественные (песчано-гравийные смеси, крупнозернистые пески) и искусственные материалы (стеклохолсты, стеклоткани, минеральная

и стеклянная вата, изделия из базальтового волокна, пленки). Весьма часто (особенно в глинистых грунтах) в качестве присыпки дрен применяют пахотный слой почвы, который относят к естественным сыпучим фильтрам. Он не является самостоятельным защитным материалом, но в сочетании с другими снижает опасность заиления и улучшает осушительное действие дренажа. В настоящее время в мелиоративном дренажном строительстве в качестве защитных фильтров максимальное распространение получили стеклохолсты, стекловата, стекломаты и стеклоткани. Эти материалы наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к дренажным фильтрам, и в большом объеме выпускаются промышленностью. Основные характеристики наиболее распространенных стеклофильтров даны в табл. 9.

Стеклохолсты (нетканые материалы) представляют собой клееные, реже вязально-прошивные изделия, полученные из элементарного штапельного или непрерывного волокон, хаотически расположенных и склеенных между собой связками. В качестве связующих применяется поливинилацетатная (ПВА) или мочевиноформальдегидная эмульсия, латексы или их композиции. Этот материал обладает большой пористостью ($n_1 = 0,90—0,95$) и малой объемной массой — до $0,13 \text{ г/см}^3$.

Стекловата — изделия из перепутанных элементарных стеклянных волокон, удерживаемых друг с другом силами естественного сцепления и трения. Поставляется в виде штучных матов или в рулонах. Толщина матов от 20 до 100 мм, средний диаметр элементарного волокна 1—13 мк, пористость 0,93—0,95.

Стекловойлок — рулонный или листовой материал из стеклянных или базальтовых волокон, расположенных хаотически, не склеенных или склеенных между собой органическими или минеральными связями.

Стеклоткань (стеклосетка) — тканый материал из первичных стеклонитей, изготовленный на ткацких станках. Выпускается полотняного, сатинового или саржевого переплетения. Ткани полотняного переплетения имеют размеры отверстий по длине 217—378, по ширине 16—77 мк, саржевого переплетения — эллипсы, расположенные попарно по диагональным линиям, имеют больший размер 253—300 мк.

Стеклохолсты устойчивы в грунтовых водах с рН от 4 до 9, стеклоткани — при рН=7—9. Правда, имеются

Таблица 9

Характеристики фильтров из стекломатериалов

Наименование изделия, марка, ГОСТ	Размеры			Единица измерения	Стоимость, руб.	Диаметр элементарного волокна $d_{э.в.}$, мкм	Средний диаметр пор D_p , мм	Пористость n_p	Коэффициент фильтрации K_f , см/с	Применяется при pH среды
	Толщина δ , мм	Длина, м	Ширина, м							
Стеклохолст ВВ-Г, СТУ-77-10-218-65	0,5—1,0	100	1,0	м ²	0,15—0,21	16	0,15—0,20	0,93—0,95	0,5—0,8	4—9
Стеклохолст ВВ-Т, МРТУ-11-13-64	0,5—0,8	100	1,0	м ²	0,12	16	0,15—0,20	0,93—0,95	0,5—0,7	4—9
Стеклохолст ВВ-М	1,0—1,5	100	0,2—0,35	м ²	0,38	14	0,12—0,15	0,94—0,95	0,3—0,6	4—9
Стеклоткани Э-0,1, Э-0,08, Э-0,06, ГОСТ 8481—61	0,1—0,06	100	0,7—0,9	пог. м	0,45—0,32	7	0,5—0,08	0,60—0,65	0,05—0,07	7—9

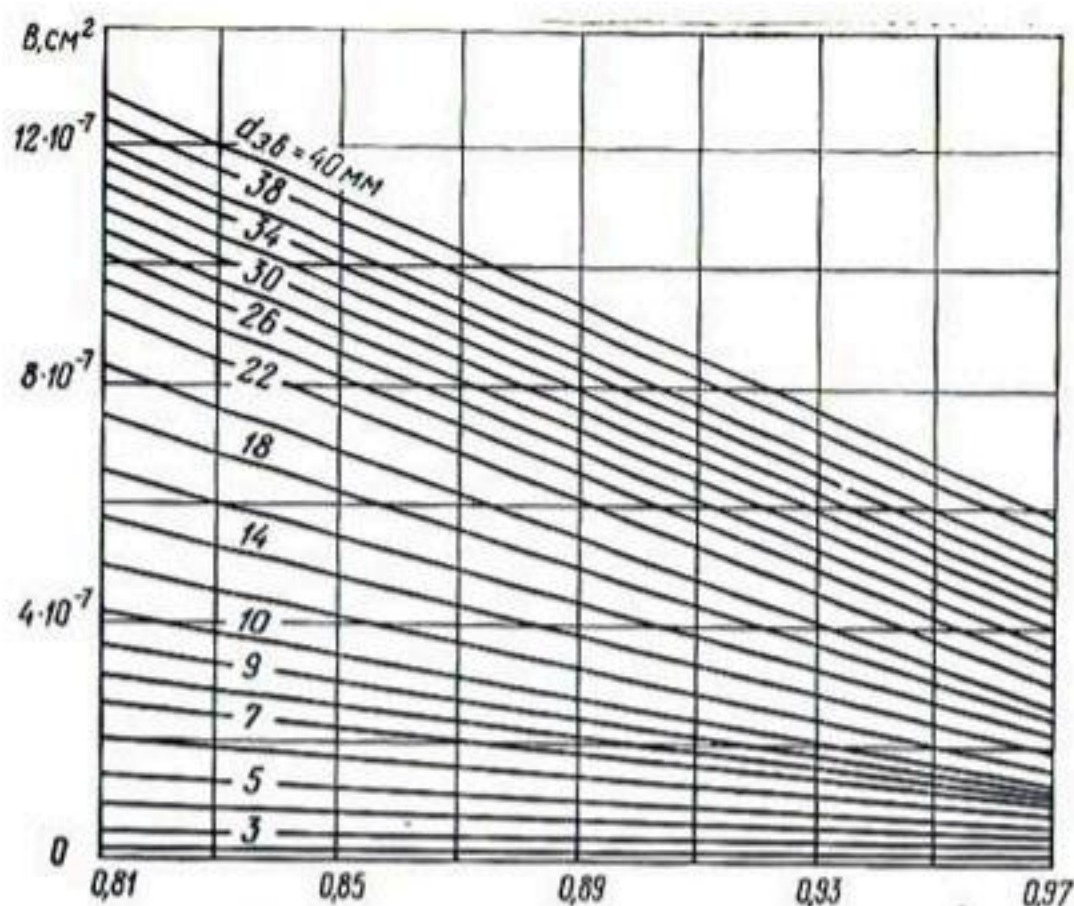


Рис. 9. Зависимость $B=f(d_{36}, n_1)$ для минеральной ваты и непропитанных связками войлоков, матов и полос из штапельного, стеклянного и базальтового волокон (по Пивовару).

высказывания, что стекловолокнистые материалы устойчивы при $pH=2-16$. Прочность стеклянных волокон на разлом и разрыв достаточна при нагрузках до 1 кг/см^2 . В условиях многократного замораживания и оттаивания прочность стекловолокнистых материалов не уменьшается. Водопроницаемость их довольно высокая. Коэффициенты фильтрации можно определить по формуле Н. Г. Пивовара [12]

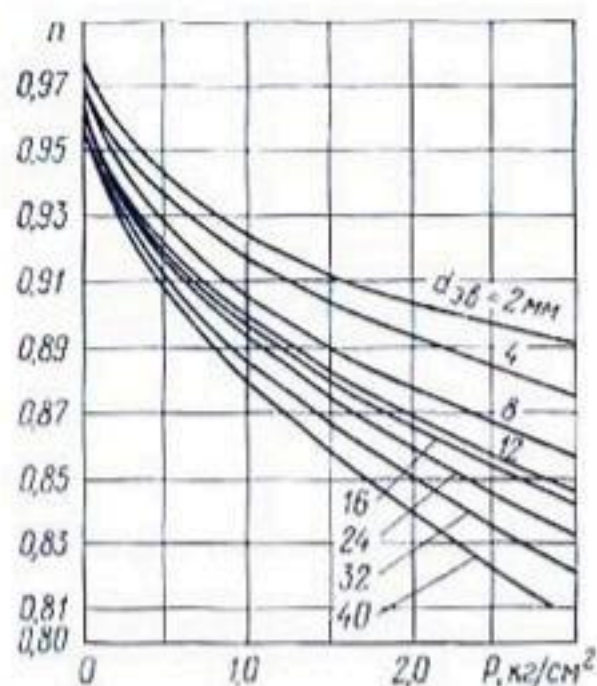
$$k_{\Phi} = \frac{gn_1^3 B}{16(1-n_1)^2 \nu}, \quad (40)$$

где $B=f(n_1)$ — коэффициент, зависящий от пористости и диаметра элементарного волокна, из которого сделан фильтр; определяется по рис. 9;

n_1 — пористость стеклофильтра, зависящая от диаметра элементарного волокна и действующей на фильтр нагрузки; определяется по рис. 10;

ν — коэффициент кинематической вязкости воды.

Рис. 10. Зависимость $n_1 = f(P, d_{э.в})$ для минеральной ваты и непропитанных связками войлоков, матов и полос из штапельного, стеклянного и базальтового волокон (по Пивовару).



Коэффициент фильтрации минеральной ваты и войлока при диаметрах элементарных волокон 2—40 мк и направлении фильтрации поперек волокон определяются по графику Н. Г. Пивовара (рис. 11). Для тех же материалов при $d_{э.в} = 10—40$ мк в зависимости от удельного давления $k_{ф}$ изменяется от 25 до 1500 м/сут и соответствует проницаемости среднезернистых песков и песчано-гравийных смесей. Осредненные значения коэффициентов фильтрации стеклохолстов и стеклотканей с учетом колюматации приведены в табл. 10.

У большинства стеклохолстов, тканей и сеток проницаемость выше, чем у осушаемых грунтов, поэтому их применение чаще всего ограничивается не фильтрационной способностью, а опасностью колюматажа.

Таблица 10

Коэффициенты фильтрации стеклохолстов и стеклотканей [48]

Материал	Марка и шифр	$k_{ф}$, м/сут
Стекловолоконистый холст	ВВ-Г	35—60
—»—»	ВВ-М	35—60
—»—»	ВВ-Т	7—8
—»—»	ВВ-К	17—35
Холст жесткий конструкционный	ХЖКН	120
Сетка стеклянная тканая	СЭ(ССТЭ-6)	17—35
Четырехмизный усиленный двухлицевой сатин	ТССНФ	10
Ткань стеклянная	АССТ(6)-С ₂	10
» »	АССТ(6)-С ₁	9
» » фильтровальная	ТСФ(6)-7С	9
» » толстолистовая	Т ₁ , Т ₂	0,23
» » электроизоляционная	Э-0,08	22—60
Стеклоткань	Э-0,06	9—17

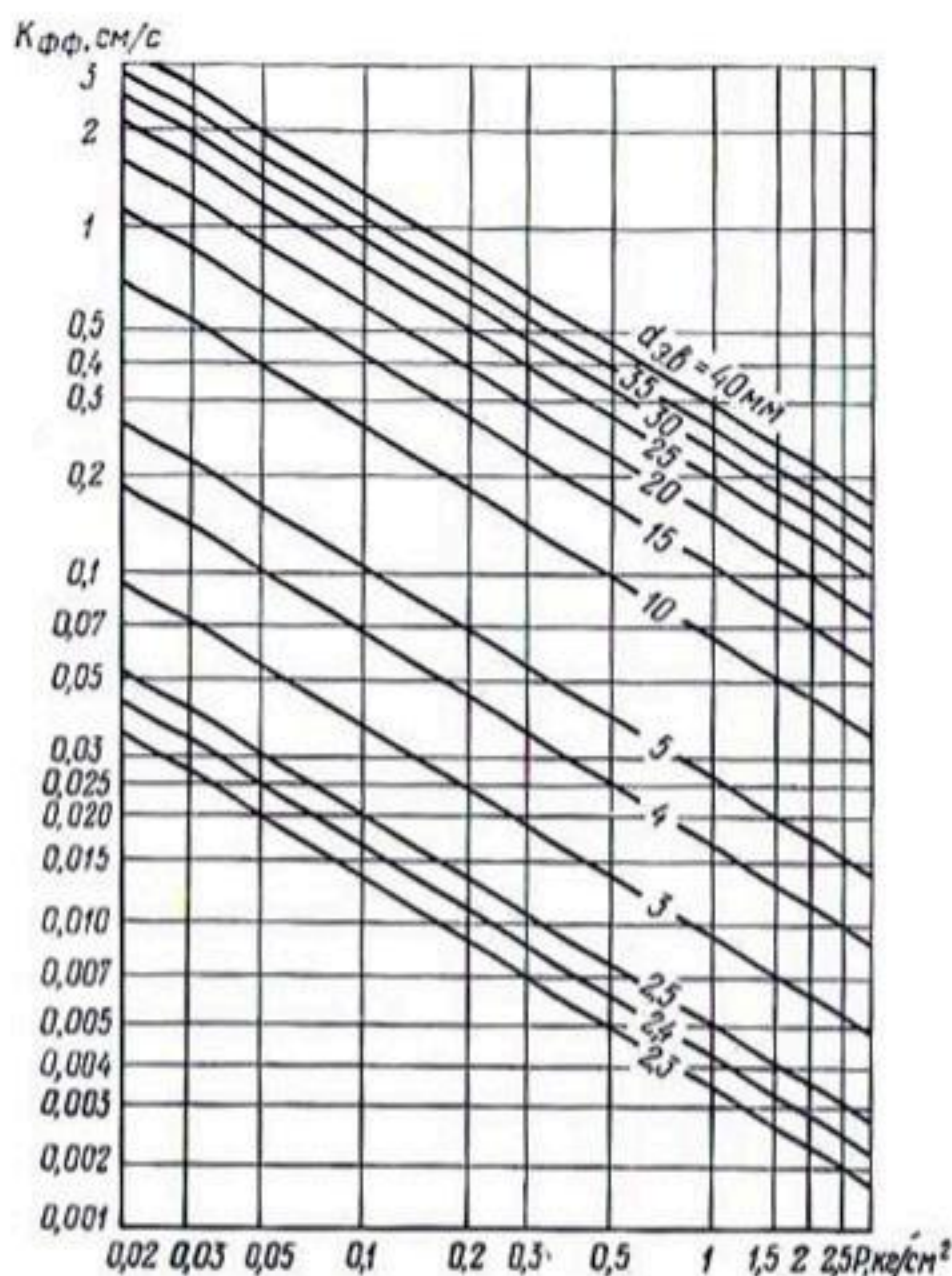


Рис. 11. Зависимость $k_{\phi} = f(P, d_{\phi})$.

Средний диаметр пор в фильтрах из стекловолокнистых материалов определяется формулой

$$D_0^{\text{сф}} = 1,78 \frac{n_1}{1 - n_1} \sqrt{B} \text{ см}, \quad (41)$$

Стеклоткани, вследствие наличия замасливателя на нитях и плотного переплетения их, обладают относительно низким коэффициентом фильтрации. Кроме того, небольшой размер пор способствует их коильматации. Поэтому применение стеклотканей в качестве фильтров очень ограничено. Не рекомендуется применять стеклоткани Э-0,1; Э-0,08 и Э-0,06 в средних и легких суглинках без присыпки их грунтом из пахотного слоя, так как глинистый раствор быстро закупоривает поры и дренаж пло-

хо отводит воду. В порядке исключения их можно использовать для фильтров коллекторов.

Средний размер отверстий в стеклохолстах колеблется в пределах 0,15—0,20 мм и, поскольку диаметры суффозионных частиц в осушаемых грунтах имеют очень малые размеры, опасность кольматажа их незначительна. Как показывают расчеты, стеклохолсты могут применяться в абсолютном большинстве несвязных и связных грунтов (за исключением крупнозернистых суффозионных песков, у которых $d_{ci} > 0,05$ мм).

Мох. Ранее в дренажном строительстве в качестве фильтров широко применялись сфагновые и гипновые мхи. Они обладают хорошими защитными свойствами при относительно большой начальной пористости. Активная пористость мхов составляет 0,5—0,55. Однако под влиянием нагрузки и вследствие неизбежных процессов разложения с течением времени она существенно уменьшается. Соответственно уменьшаются и коэффициенты фильтрации мхов. Если k_{ϕ} непригруженных мхов колеблется в пределах 20—70 м/сут, то при нагрузке 0,2 кг/см², что соответствует давлению засыпки в траншее, он уменьшается до 0,1—0,5 м/сут и менее. Следовательно, мхи в качестве фильтров могут применяться только в слабофильтрующих грунтах; в песках они будут ухудшать осушительное действие дренажа. Водопроницаемость гипновых мхов несколько выше, чем сфагновых. Однако первые разлагаются быстрее и менее пригодны в качестве фильтров. Сфагновые мхи вследствие кислой реакции более долговечны и обладают лучшими защитными свойствами.

Диаметры фильтрационных ходов структурных материалов, в том числе и мхов, можно вычислить по формуле [48]

$$D_0 = 0,023 \sqrt{\frac{k_{\phi}}{n_1' I_2}} \text{ мм}, \quad (42)$$

где n_1' — пористость материала при заданной нагрузке;

k_{ϕ} — коэффициент фильтрации при этой же нагрузке, см/с;

I_2 — коэффициент, учитывающий структуру материала; для мхов $I_2 \approx 0,8$, для стекловолокна $I_2 \approx 1,0$.

Торфяная крошка — измельченный слаборазложившийся сфагновый торф, отделенный от мелких пылеватых

частиц. Проницаемость торфокрошки довольно высокая, однако трудно гарантировать непросыпаемость скелета мелкозернистых грунтов. Поэтому ее, как и фрезерный слаборазложившийся торф, в качестве самостоятельного фильтра обычно не применяют. Используют эти материалы при комбинированных видах защиты дренажа вместе со стеклохолстом, который является собственно защитным фильтром, а торфокрошка служит фильтрующей присыпкой. Мероприятие это полезное, так как существенно улучшает осушительное действие дренажа.

РАСЧЕТ И ПОДБОР ФИЛЬТРОВ В НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТАХ

Фильтры из структурных материалов. Дренаж, уложенный с фильтром из структурного материала в несвязном грунте, нормально функционирует в том случае, если фильтр обеспечивает непросыпаемость частиц скелета грунта в трубы, не колыматируется и не создает дополнительных сопротивлений поступлению воды в дрены. При проектировании защиты дренажа от заиления с применением структурных фильтров в несвязных грунтах прежде всего необходимо иметь данные о гранулометрическом составе грунтов осушаемого объекта. В связи с тем, что на практике составы грунтов на одном и том же объекте колеблются в очень больших пределах, а фильтр желательно подобрать один для всей их гаммы, необходимо выбрать из имеющихся грунтов наиболее опасные в смысле заиления дренажа. Обычно для расчетов следует выбирать два грунта: самый мелкозернистый и самый крупный. Это обусловлено тем обстоятельством, что мелкозернистые грунты опасны по просыпаемости через фильтр, а крупнозернистые — по колыматируемости его суффозионными частицами. Чем крупнее состав суффозионного грунта, тем больше размеры суффозионных частиц, и опасность колыматажа структурного фильтра возрастает.

Кроме механического состава грунтов, необходимо иметь данные об их пористости, объемной массе и коэффициентах фильтрации. Приблизленно величины n_1 и $k_{гр}$ можно вычислить по формулам (6), (9), (15).

Расчеты по подбору структурных фильтров сводятся к установлению границ размеров его пор. Прежде всего определяется суффозионность выбранных грунтов. Для этого по их гранулометрическому составу вычисляют по

(12) максимальные диаметры суффозионных частиц $d_{ci}^{\max}$. Согласно критерию А. Н. Патрашева, фильтр не будет кольматироваться, если выполняется следующее условие:

$$D_{0,1} > 1,1a_*d_{ci}, \quad (43)$$

где $D_{0,1}$ — максимальный диаметр пор фильтра;
 a_* — коэффициент, зависящий от свойств кольматирующих частиц и числа Рейнольдса; определяется по табл. 11.

Таблица 11

Кольматирующие частицы, мм	a_*	Re
Пылеватые, от 0,01 до 0,05	4,0	1,0
Мелкий песок, от 0,05 до 0,25	3,0	0,5
Средний песок, от 0,25 до 0,5	2,5	0,1

С другой стороны, непросыпаемость частиц скелета будет обеспечена, если диаметры пор фильтра будут удовлетворять условию

$$D_{0,2} \leq 1,8d_{60}, \quad (44)$$

где d_{60} — 60%-ный диаметр частиц наиболее мелкого грунта.

Фильтр отвечает заданным грунтовым условиям, если средние диаметры его пор удовлетворяют неравенству

$$D_{0,1} \leq D_0 \leq D_{0,2}. \quad (45)$$

По нему и подбирается из имеющейся гаммы структурных фильтров наиболее подходящий. Кроме того, по фильтрационной способности он должен удовлетворять условию (38).

Пример. Из имеющихся на объекте разновидностей песчаных грунтов (пески, залегающие на глубине закладки дрен) наиболее крупный — среднезернистый песок, у которого: $d'_0 = 0,005$; $d'_3 = 0,055$; $d'_{10} = 0,095$; $d'_{17} = 0,115$ и $d'_{60} = 0,30$ мм, наиболее мелкий — пылеватый песок такого состава: $d''_0 = 0,002$; $d''_3 = 0,009$; $d''_{10} = 0,012$; $d''_{17} = 0,013$ и $d''_{60} = 0,10$ мм.

Вычисляем по (1) коэффициенты разнотерности крупнозернистого песка

$$\eta' = \frac{d'_{60}}{d'_{10}} = \frac{0,3}{0,095} = 3,16.$$

По формуле (6) находим его пористость

$$n' = 0,40 - 0,1 \lg \eta' = 0,40 - 0,1 \lg 3,16 = 0,35.$$

Далее по формуле (12) вычисляем максимальные диаметры суффозионных частиц

$$d'_{ci} = 0,35 \frac{n'}{1-n'} d'_{17} (1+0,05\eta') \sqrt[6]{\eta'} = 0,35 \frac{0,35}{1-0,35} 0,115 (1 + 0,05 \cdot 3,16) \sqrt[6]{3,16} = 0,03 \text{ мм.}$$

За расчетный диаметр суффозионных частиц принимаем $d'_{ci} = 0,03$ мм и по табл. (11) находим $a_* = 4$. Диаметр некольматируемых пор вычисляем по (43)

$$D_{0,1} = 1,1 \cdot 4 \cdot 0,03 = 0,132 \text{ мм.}$$

Находим необходимый диаметр пор по условию обеспечения не-просыхаемости мелкого грунта по (44)

$$D_{0,2} = 1,8 d_{60}^* = 1,8 \cdot 0,1 = 0,180 \text{ мм.}$$

Согласно (45) средний диаметр пор фильтра должен лежать в пределах

$$0,132 \leq D_0 \leq 0,180 \text{ мм.}$$

Этим условиям отвечает стеклослсский холст типа ВВ-Г (см. табл. 9), имеющий средний диаметр пор $D_0 = 0,175$ мм.

Проверим теперь соответствие его заданным условиям по фильтрационной способности. Для этого по (9) вычисляем коэффициент фильтрации среднезернистого песка

$$k_{гр} = \frac{3,99 \cdot 0,35^3}{1,3 \cdot 10^{-2} (1 - 0,35)^2} \sqrt[3]{3,16} \cdot 0,0115^2 = 0,0057 \text{ см/с;}$$

$$k_{гр} = 0,0057 \cdot 864 = 4,93 \text{ м/сут.}$$

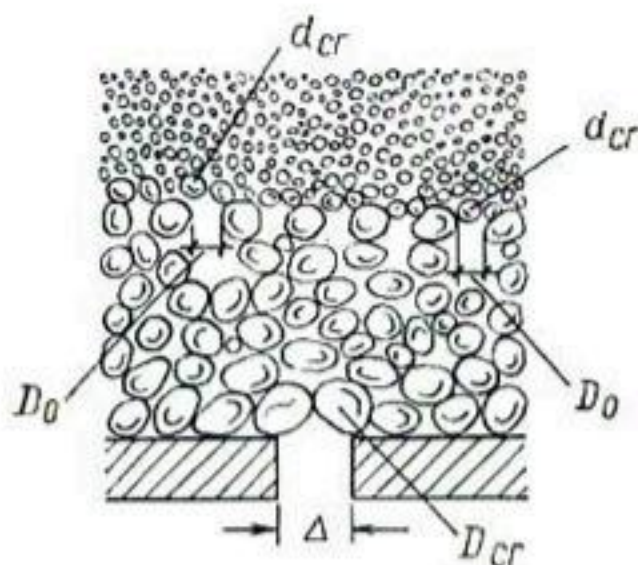
По табл. 9 для стеклохолста ВВ = Г принимаем $k_{\phi} = 35$ м/сут и проверяем условие (38)

$$\frac{k_{\phi}}{k_{гр}} = \frac{35}{4,93} = 7,1 > 5.$$

Условие выполняется. Следовательно, по всем показателям заданным грунтовым условиям соответствует фильтр из стекловолоконного холста типа ВВ-Г.

Фильтры из сыпучих материалов (песчано-гравийных смесей). Расчеты по подбору фильтров из сыпучих материалов в несвязных грунтах заключаются в определении гранулометрического их состава, удовлетворяющего следующим условиям: непротекания фильтра через водоприемные отверстия дренажных труб; непротекания защищаемого грунта через сам фильтр (проверочное условие). Кроме того, необходимо удовлетворить условие

Рис. 12. Расчетная схема грунт — фильтр — дрена. (Условия: 1) $D_{cr} \geq 0,6\Delta$; $d_{cr} \geq 0,6D_0$; 2) $D_{cr} \leq D_{60}$; $d_{cr} \leq d_{60}$.)



водопротускной способности фильтра (38). Расчетная схема представлена на рис. 12. Исходными данными для расчета являются: гранулометрический состав осушаемого

грунта, его плотность и объемная масса, водопроницаемость, предполагаемая плотность и объемная масса песчано-гравийной смеси (эти данные можно взять по предполагаемым карьерам), а также размеры водоприемных отверстий в дренажных трубах.

Методы расчета состава сыпучих фильтров для сельскохозяйственного дренажа детально разработаны А. Н. Патрашевым и его учениками [20, 21, 38, 40, 48, 53] и состоят в следующем. Сводообразующих частиц в фильтре должно быть не менее 40%, и их размеры должны удовлетворять условию (22). Поэтому по размерам водоприемных отверстий в дренажных трубах (Δ или $D_{o.d}$) вычисляется 60%-ный диаметр частиц защитного материала

$$D_{60} = 0,6\Delta, \text{ или } D_{60} = 0,36D_{o.d}. \quad (46)$$

Коэффициент разнотерности η_{ϕ} рекомендуется принимать не более 10. Тогда 10%-ный диаметр частиц фильтра определяется по формуле

$$D_{10} = \frac{D_{60}}{\eta_{\phi}} = \frac{D_{60}}{10}. \quad (47)$$

Диаметры частиц, определяющие размеры фильтрационных ходов, должны быть в 1,5 раза больше D_{10} , т. е.

$$D_{17} = 1,5D_{10} = 1,5 \frac{D_{60}}{\eta_{\phi}}. \quad (48)$$

Из фильтра не должно выноситься более 5% частиц, поэтому

$$D_5 = D_{ci}^{\max} = D_0^{\max} D_{17}, \quad (49)$$

где $D_0^{\max}$ — диаметр максимального хода в фильтре,

$$D_0^{\max} = 0,455 (1 + 0,05\eta_{\phi}) \sqrt{\eta_{\phi}} \frac{n_{\phi}}{1 - n_{\phi}} D_{17}; \quad (50)$$

$$n_{\phi} = 0,40 - 0,1 \lg \eta_{\phi}. \quad (51)$$

Максимальный диаметр частиц фильтра находят по зависимости

$$D_{\max} = (3 \div 5) \Delta, \text{ или } D_{\max} = (3 \div 5) D_{0, \Delta} \quad (52)$$

Вычисленные по (46) — (52) значения диаметров фильтра позволяют построить расчетную кривую его гранулометрического состава и по ней подобрать грунт из близко расположенных от осушаемого объекта карьеров. При этом допускаются отклонения от расчетного диаметра D_{60} (и соответственно всех других диаметров) на $\pm 20\%$, т. е.

$$D_{60} = (0,4 \div 0,8) \Delta, \text{ или } D_{60} = (0,3 \div 0,43) D_{0, \Delta}. \quad (53)$$

Если в выбранном карьерном грунте содержится более 7% суффозионных частиц, т. е. $D_{cl}^{\max} \geq D_7$, то мелкие фракции необходимо отсеять.

Подобранный описанным выше способом песчано-гравийный фильтр будет удовлетворять только условиям непросыпаемости его в трубы. Но это в общем случае еще совсем не означает, что он удовлетворяет условию непросыпаемости дренированного грунта. Поэтому подобранный состав необходимо проверить на выполнение условия

$$d_{cr} \geq 0,6 D_0, \text{ или } D_0^{\max} \leq 1,8 d_{60}. \quad (54)$$

Поскольку песчано-гравийные фильтры в принципе выбираются только тогда, когда отверстия в трубах не обеспечивают условия непросыпаемости дренируемого грунта, они по составу заведомо крупнее и их водопроницаемость намного выше. Опасности кольматации фильтра суффозионными частицами грунта, если они и имеются, практически нет. Условия водопроницаемости фильтра почти всегда выполняются.

Следует иметь также в виду, что при проектировании фильтров для гончарного дренажа размеры стыковых зазоров должны быть приняты по максимальному фактическому их значению. Во всяком случае нельзя принимать $\Delta < 4-5$ мм.

Пример. Гончарный дренаж закладывается в мелкозернистом пылеватом песке, имеющем следующий состав: $d_{10} = 0,010$; $d_{17} = 0,013$; $d_{60} = 0,08$ мм. Требуется подобрать состав фильтра из песчано-гравийной смеси.

Расчетную величину зазоров между гончарными трубами принимаем $\Delta = 4$ мм.

По (46) вычисляем 60%-ный диаметр фильтра

$$D_{60} = 0,6 \cdot 4 = 2,4 \text{ мм.}$$

Принимаем коэффициент разнотерности $\eta_{\phi} = 10$ и по (47) вычисляем

$$D_{10} = \frac{2,4}{10} = 0,24 \text{ мм.}$$

17%-ный диаметр частиц фильтра находим по (48)

$$D_{17} = 1,5 \cdot 0,24 = 0,36 \text{ мм.}$$

Далее вычисляем пористость фильтра, пользуясь зависимостью (51)

$$n_{\phi} = 0,40 - 0,1 \lg 10 = 0,3,$$

и по (50) находим размер максимального фильтрационного хода

$$D_0^{\max} = 0,455 (1 + 0,05 \cdot 10) \sqrt[6]{10} \frac{0,3}{1 - 0,3} 0,36 = 0,155 \text{ мм.}$$

Вычисляем 5%-ный диаметр частиц фильтра по (49)

$$D_5 = 0,155 \cdot 0,36 = 0,056 \text{ мм.}$$

Максимальный диаметр частиц находим по (52)

$$D_{\max} = 3 \cdot 4 = 12 \text{ мм.}$$

Проверяем фильтр на непротаскиваемость грунта по (54)

$$0,155 > 1,8 \cdot 0,08 = 0,144 \text{ мм.}$$

Условие не выполняется. Следовательно, в данном грунте однослойный песчаный фильтр подобрать нельзя. Нужно или уменьшить допустимый размер стыковых зазоров, или применить структурный фильтр. Однако, поскольку отклонение диаметра пор в фильтре от требуемого не превышает 10%, можно остановиться на подобранном составе.

Проверим условие водопрооницаемости. По формуле (9) вычисляем коэффициент фильтрации фильтра

$$k_{\phi} = \frac{3,99 \cdot 0,3^3}{1,3 \cdot 10^{-2} (1 - 0,3)^2} \sqrt[3]{10} \cdot 0,036^2 = 0,046 \text{ см/с.}$$

Для осушаемого грунта находим коэффициент неоднородности

$$\eta = \frac{0,08}{0,010} = 8$$

и вычисляем коэффициент пористости

$$n_1 = 0,4 - 0,1 \lg 8 = 0,31.$$

Коэффициент фильтрации грунта находим по (9)

$$k_{\text{гр}} = \frac{3,99 \cdot 0,31^3}{1,3 \cdot 10^{-2} (1 - 0,31)^2} \sqrt[3]{8} \cdot 0,0013^2 = 0,00007 \text{ см/с.}$$

Проверяем условие (38)

$$\frac{k_{\text{ф}}}{k_{\text{гр}}} = \frac{0,04600}{0,00007} = 657 > 5.$$

Условие выполняется.

Итак, состав фильтра: $D_5 = 0,056$; $D_{10} = 0,24$; $D_{17} = 0,36$; $D_{60} = 2,4$ и $D_{\text{max}} = 12$ мм.

РАСЧЕТ И ПОДБОР ФИЛЬТРОВ В СВЯЗНЫХ ГРУНТАХ

К связным грунтам, помимо глин, суглинков, супесей и торфов, следует относить пылеватые грунты с содержанием частиц $d < 0,05$ мм более 20%. При современной технологии строительства дренажа трубы укладываются в желобок на дне траншеи практически в ненарушенный грунт. Присыпка же производится грунтом нарушенной структуры, взятым из пахотного горизонта. В ненарушенном состоянии связные грунты (за исключением пылеватых) обладают большой фильтрационной прочностью. С нарушением их структуры, что имеет место при отрывке и засыпке траншей, водопрочность отдельных агрегатов значительно снижается. В нарушенной и неуплотненной траншейной засыпке возникает опасность размокания и размыва агрегатов гумусного грунта и проникновение его в полость труб через водоприемные отверстия. Оценку водопрочности агрегатов глинистых грунтов можно сделать по формуле

$$C = \frac{100a}{b} \%, \quad (55)$$

где a — содержание частиц $< 0,001$ мм по микроагрегатному анализу;

b — то же, по механическому анализу.

При $C < 5\%$ агрегаты весьма водопрочны; $C = 5—20\%$ — относительно водопрочны; $C = 20—50\%$ — слабо водопрочны и при $C > 50\%$ — легко распадаются в воде.

Поскольку низ дренажных труб расположен в ненарушенном связном грунте, обладающем значительной прочностью, и укладка фильтров снизу во многих случаях необязательна, необходимо прежде всего оценить эту возможность по допустимым размерам водоприемных отверстий из условия отслаивания и отрыва агрегатов. В глинах и тяжелых суглинках процесс отслаивания про-

исходить не будет, если размеры дренажных отверстий отвечают условиям (25) — (27).

Пример. Дренаж из пластмассовых труб с круглой перфорацией $d_0 = 3$ мм закладывается в тяжелом суглинке $I_p > 0,17$. Расчетный градиент напора $I = 5$. Проверить возможность укладки дренажа без фильтра снизу.

Угол между направлением скорости фильтрации и силами тяжести $\theta \approx 45^\circ$, $\cos \theta = 0,71$. По формулам (26) — (27) определяем допустимый размер перфорации из условия предотвращения отрыва и отслаивания агрегатов грунта:

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{0,34}{0,34 \cdot 5 + 0,71}} = 0,377 \text{ см};$$

$$\varphi = 0,17 \sqrt{5 - 1} = 0,34.$$

Поскольку $\bar{\delta} = 3,8 > d_0 = 3$ мм фильтр снизу под трубами можно не укладывать.

Если дренаж закладывается в суглинках, у которых число пластичности $0,07 < I_p \leq 0,17$, то предельно допустимые размеры перфорации в дренах определяются по формуле

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{0,17}{I_p + \cos \theta}} \text{ см.} \quad (56)$$

Для супесей, у которых $0,01 \leq I_p \leq 0,07$,

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{0,1}{I_p + \cos \theta}} \text{ см.} \quad (57)$$

Если дренируемый грунт пылеватый песок с содержанием фракции $d < 0,05$ мм больше 20%, то

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{0,025}{I_p + \cos \theta}} \text{ см.} \quad (58)$$

Пример. Определить максимально допустимый размер перфорации в трубах, закладываемых без фильтра в нижней части в пылеватом песке с содержанием частиц $d > 0,05$ больше 20% при $I_p = 5$ и $\theta = 45^\circ$.

По (58) находим

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{0,025}{5 + 0,71}} = 0,66 \text{ мм.}$$

Торфяные грунты естественного сложения и нарушенные в уплотненном состоянии обладают высокой фильтрационной прочностью, что позволяет укладывать дренажные трубы без защитных фильтров. Однако такие

условия гарантированы только в нижней части дрен, т. е. под трубами. Грунт над трубами не обладает достаточной плотностью и фильтрационной прочностью, так как, во-первых, в период строительства слой первичной присыпки находится в рыхлом состоянии и при насыщении водой нередко превращается в бузу, которая кольматирует водоприемные отверстия в трубах и проникает в их полость; во-вторых, после засыпки траншей уплотнение грунта происходит не сразу, фильтрационная прочность торфа в первый период небольшая и опасность кольматажа верхних отверстий в трубах достаточно высокая.

Основное назначение защитных фильтров в торфяных грунтах — предотвращение деформаций выпора, предохранение отверстий в трубах от кольматации и улучшение условий приточности воды к дренам. Поскольку торф — грунт несuffозионный, то расчеты по подбору фильтров состоят в обеспечении необходимой их водопроницаемости

$$\frac{k_{\text{дб}}}{k_{\text{гр}}} \geq 10. \quad (59)$$

В малоплотных торфяниках, объемная масса твердого вещества которых $\gamma_{\text{ск}} \leq 0,09 \text{ г/см}^3$, необходимо применять круговую защиту. В плотных торфяниках защиту можно устраивать только сверху (на $2/3$ периметра). При этом размеры водоприемных отверстий должны быть меньше допустимых условием (29).

Пример. Максимальная ширина стыковых зазоров между гончарными трубами диаметром 150 мм составляет 4 мм. Проверить возможность укладки дренажа без фильтра снизу в плотном торфе, у которого $n_1 = 0,8$, плотность $\gamma_y = 1,6 \text{ г/см}^3$ при расчетном градиенте напора у щелей $I_p = 5$.

По формуле (28) определяем

$$I_{\text{кр}} = (1 - 0,8) (1,6 - 0,9) = 0,14.$$

Допустимую ширину стыковых зазоров находим по (29)

$$\bar{\delta} = \frac{1}{5} \sqrt{\left(\frac{50}{5 - 0,14}\right)^3} = 6,6 \text{ мм.}$$

Так как $\tau = 4 < \bar{\delta} = 6,6 \text{ мм}$, то деформации выпора торфа происходить не будет и дренаж можно закладывать без фильтра снизу.

Таким образом, во всех связных грунтах, по крайней мере в верхней части труб (на $2/3$ периметра), необходимо укладывать фильтры (лучшим вариантом, учитывая создание оптимальных условий приточности воды к дренам, является круговая защита).

Если фильтр в глинистых грунтах устраивается из сыпучих материалов (песчано-гравийные смеси, средние и крупнозернистые пески, шлак и т. п.), то расчеты по его подбору заключаются в обеспечении условий непросыпаемости зерен через водоприемные отверстия труб. Требования фильтрационной прочности (отсутствие отрыва и отслаивания агрегатов дренируемого связного грунта на контакте с фильтром) и водопроницаемости всегда при этом обеспечиваются, и соответствующих расчетов проводить не следует. Расчеты по просыпаемости фильтра в трубы ничем не отличаются от изложенных в предыдущем параграфе.

В некоторых случаях в качестве фильтра можно использовать пахотный слой глинистых почв. Однако предварительно нужно установить его пригодность на основе требований, предъявляемых к сыпучим защитным материалам. Для этого по гранулометрическому составу на основе микроагрегатного анализа грунта пахотного слоя проверяется условие сводообразования над водоприемными отверстиями дрен (22). Кроме того, определяется водопрочность агрегатов (55) и условие достаточной водопроницаемости фильтра (39). Как правило, на окультуренных глинистых почвах водопроницаемость пахотного слоя на 1—2 порядка выше водопроницаемости подпахотного слоя и колеблется в пределах 0,6—3,5 и более м/сут.

Если на связных почвах в качестве фильтров применяются структурные материалы (стеклохолст, стекловата, мох, солома, очес верхового торфа и т. п.), то единственной опасностью с точки зрения заиления дренажа является их кольматация. Хотя теоретически связные грунты не являются суффозионными и кольматация структурных фильтров не должно быть, на практике, поскольку траншейная засыпка довольно рыхлая в начальный период, некоторая закупорка пор имеет место. Методов расчета кольматации структурных фильтров в связных грунтах в настоящее время нет. Единственную возможность оценки этого явления предоставляют специальные опыты в лабораторных условиях, о методике которых и расчетах будет сказано ниже.

Имеющийся практический опыт и специальные исследования свидетельствуют о том, что наиболее приемлемыми структурными материалами в качестве фильтров дрен в связных грунтах являются стеклохолсты. Они надежно предохраняют дренаж от заиления, хотя при этом могут

существенно кольматироваться. Установлено, что коэффициенты фильтрации даже сильно закольматированных стеклохолстов составляют не менее 2 м/сут, что во много раз превышает водопроницаемость супесей и суглинков. Для уменьшения степени кольматации стеклохолстов в этих грунтах необходимо присыпать их слоем гумусного грунта в 15—20 см. Опыт Литвы свидетельствует, что лучший эффект получается, если поверх стеклохолста предварительно уложить 3—4 см слаборазложившегося фрезерного торфа (торфокрошку), а сверху присыпать пахотным слоем в 15—20 см.

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В решении вопросов защиты дренажа от механического заиливания в мировой мелиоративной практике наметилось несколько различных подходов. Длительное время существует стремление подобрать (создать) такой материал, который был бы пригоден в качестве фильтров дренажа во всех встречающихся в мелиоративном строительстве грунтовых условиях и при этом был технологичным и экономичным. С другой стороны, предпринимаются многочисленные попытки создания труб с фильтром, устраиваемым в заводских условиях, которые можно было бы укладывать во всех грунтах (имеются в виду пластмассовые трубы с фильтром-оболочкой). И наконец, наметилось направление в изготовлении труб с фильтрующими стенками (пористые трубы, трубофильтры и т. п.), а также разработки такой их конструкции (по перфорации), которая позволила бы укладку дренажа в любых грунтовых условиях без фильтров.

С производственной и экономической точки зрения идеальным является последний случай. Сразу решаются вопросы технологии и механизации строительства, снабжения материалами и др. Однако в общем случае, учитывая все многообразие грунтовых условий, в такой постановке полностью решить эту задачу, видимо, невозможно. Взять, к примеру, материалы для фильтров. Наиболее подходящими из них являются песчано-гравийные смеси. В принципе во всех без исключения грунтах и для любых труб (по конструкции) можно подобрать состав фильтра из песчано-гравийной смеси, пусть даже двух- или трех-

слойный. Однако, во-первых, необходимы соответствующие расчеты, подбор карьеров, отсев фракций и т. п. Во-вторых, далеко не на всех объектах имеются близко расположенные карьеры подходящего состава, необходимы значительные транспортные расходы, не решены вопросы механизации укладки фильтров, велики трудозатраты. Все это приводит к тому, что из применяемых в настоящее время фильтров песчано-гравийные смеси самые дорогие. Они намного (3—10 раз) превышают стоимость самих дренажных труб. Практически в гумидной зоне СССР песчано-гравийные смеси в качестве фильтров мелиоративного дренажа применяются крайне редко. Наибольшее распространение поэтому получили структурные фильтры из всевозможных естественных и искусственных материалов.

Теперь рассмотрим, насколько реально создать (подобрать) структурный фильтр, пригодный во всех без исключения грунтовых условиях. Возьмем сначала связные грунты. Как показывают расчеты по приведенным выше формулам, практически для всех связных грунтов, включая и пылеватые пески с содержанием частиц $d < 0,05$ мм более 20%, из условия недопущения отрыва и отслаивания агрегатов размер пор в фильтре должен быть не более 0,6 мм. Фильтры с такими размерами пор (да и перфорацию в трубах) создать несложно. Что касается несвязных грунтов, то, с одной стороны, здесь мы имеем массу очень мелкозернистых песков, включая и плавуну, с другой — на глубине закладки дрен, хотя и редко, но встречаются средне- и крупнозернистые пески. Для того чтобы фильтр обеспечивал непротекание частиц скелета самого мелкозернистого несвязного грунта, размер его пор, как показывают расчеты и анализы (см. рис. 7), должен быть не более 0,15 мм. В то же время, чтобы фильтр не колюматировался в наиболее крупном песке (см. рис. 8 и табл. 6), минимальный размер его пор должен быть больше 0,3 мм ($1,1 \cdot 3 \cdot 0,10 = 0,33$). Создать такой фильтр, у которого поры были бы одновременно $< 0,15$ и $> 0,3$ мм, невозможно. Значит, теоретически можно создать фильтр, удовлетворяющий только какой-то определенной части из всей гаммы встречающихся грунтов. Наиболее приемлемыми из существующих и применяемых в мелиоративной практике являются стекловолоконные холсты марок ВВ (воздушного вытягивания). Из новых материалов это — полиэтиленхолст, разрабо-

ташный Институт механики металлополимерных систем АН БССР совместно с авторами данной работы. Первые исследования в стране по применению стеклохолстов типа ВВ-Г и ВВ-Т в качестве фильтров дренажа выполнены нами еще в 1961 г. Начиная с 1964 г. в БССР стеклохолст является практически единственным материалом, применяемым для защиты дренажа от механического заиливания. Позже он стал основным фильтром дрен в Прибалтийских республиках, на Украине и в других зонах страны. Многочисленные лабораторные и длительные полевые эксперименты и практика показывают [32, 33, 39, 27], что стеклохолст в абсолютном большинстве случаев является вполне надежным и долговечным фильтром.

Размеры фильтрационных ходов стекловолоконистых холстов колеблются в пределах 0,12—0,20 мм. Следовательно, по условиям сводообразования они могут применяться в грунтах, 60%-ный диаметр частиц которых не менее 0,066 мм, а по условию некольматируемости — в грунтах, максимальный диаметр суффозионных частиц которых не превышает 0,06 мм. К первым относятся очень мелкие пылеватые пески, ко вторым — крупнозернистые пески. Для несвязных грунтов, по механическому составу лежащих в промежутке между указанными пределами, условия сводообразования и некольматируемости выполняются автоматически.

Проведенный нами анализ (см. табл. 5, 6 и рис. 7, 8) свидетельствует о том, что из всей гаммы несвязных грунтов в Белоруссии мелкозернистых песков ($d_{60} < 0,066$ мм) имеется менее 6%, а крупнозернистых ($d_{ci}^{max} > 0,06$ мм) — не более 5,5%. Таким образом, стекловолоконистые холсты с размерами диаметров пор 0,12—0,20 мм пригодны в качестве фильтров мелиоративного дренажа в 88—89% несвязных грунтов и для всех связных грунтов. Как же быть с защитой дренажа в оставшихся случаях? В очень мелкозернистых песках и плавунках допускается укладывать сплошной фильтр из стеклохолста в 2—3 слоя, а сверху, как указывалось выше, присыпать его слоем 4—5 см торфокрошки. Присыпку траншей при этом следует делать грунтом из пахотного слоя (20—25 см). В крупнозернистых песках, встречающихся иногда на глубине закладки дрен, пластмассовые и гончарные трубы, если размеры перфорации и стыковых зазоров не превышают

1,5—2,0 мм, можно укладывать без фильтров и присыпать их гумусным грунтом (20—30 см). Лучше в качестве присыпки использовать торфокрошку, а при ее отсутствии укладывать на стыках гончарных труб мох, соломой и т. п.

В последнее время появились мнения, ставящие под сомнение целесообразность использования стеклохолстов в качестве фильтров мелиоративного дренажа. При этом ссылаются на западноевропейский опыт. Нам неизвестны работы, где бы приводились фактические данные, подтверждающие неприемлемость стеклохолстов в качестве фильтров в определенных грунтовых условиях. Западноевропейский же опыт со стеклохолстами и другими аналогичными материалами, по нашему мнению (хотя мы и не знаем научных работ по этому поводу), мог оказаться неудачным по следующим причинам. Название «стеклохолст», «хлорин» и т. п. говорит только о том, из какого материала сделан фильтр, и очень мало о его структуре и физико-технических характеристиках. Из стеклянных, хлориновых и других элементарных волокон в зависимости от их диаметров, плотности упаковки и применяемого связующего (или без него) можно сделать фильтр с очень большим количеством очень мелких пор. Водопроницаемость такого фильтра будет высокой, защитные (от просыпаемости грунта) свойства великолепные, но он будет очень быстро кольматироваться в большинстве несвязных грунтов. Возьмем такой пример. Пусть диаметры фильтрационных ходов D_0 в стеклохолсте колеблются в пределах 0,08—0,12 мм. Непросыпаемость частиц скелета грунта через такой стеклохолст обеспечена практически во всех грунтах. Вычислим размеры суффозионных частиц, которые будут свободно проходить через такой фильтр. По формуле (43) и табл. 11 имеем:

$$d_{cl,1} = \frac{D_0}{1,1a_*} = \frac{0,08}{1,1 \cdot 4} = 0,0182 \text{ мм};$$

$$d_{cl,2} = \frac{0,12}{1,1 \cdot 4} = 0,0273 \text{ мм},$$

т. е. суффозионные частицы размером $d_{cl} \geq 0,03$ мм не будут проходить через фильтр и неизбежно его закольматировуют.

Теперь посмотрим, а какой процент вероятности кольматации? По крайней мере для условий Белоруссии таких

несвязных грунтов, как это видно из графика рис. 8, имеется почти 40%. Значит, если стеклофильтр имеет $0,08 \leq D_0 \leq 0,12$ м, то он не будет соответствовать более чем $1/3$ несвязных грунтов. Известные нам образцы западноевропейских фильтров из стеклохолста намного плотнее (менее проницаемы для суффозионных частиц), чем отечественные. В этом, собственно, и заключается причина неудачного (если он действительно есть) опыта применения очень плотных фильтров из стекловолоконистых материалов в Западной Европе. Следует отметить, что и у нас в последнее время стали появляться предложения по применению новых фильтров с очень мелкой пористостью (хлорин и др.).

Стеклохолсты марок ВВ-Г, ВВ-Т и др. не являются материалом, полностью соответствующим мелиоративному строительству. Основной их недостаток — малая прочность на разрыв, что не позволяет механизировать процесс укладки фильтров. Кроме того, размеры выпускаемых стеклохолстов (по ширине) намного превышают требуемые, материал не всегда однороден — встречаются вкрапления стекла (корольки), иногда отдельные крупные поры. Обращение со стеклохолстом требует определенных мер предосторожности. Рабочих необходимо обеспечивать очками, перчатками, марлевыми повязками. Холсты до укладки в грунт следует предохранять от намокания, так как они теряют при этом прочность. Преимущества стеклохолстов состоят в хороших защитных (от заиления) свойствах, транспортабельности, дешевизне.

Появившиеся недавно полиэтиленхолсты имеют практически одинаковую со стеклохолстами фильтрационную способность, размеры пор колеблются в таких же пределах. Опытами В. А. Воронцова установлена их высокая защитная способность, при этом практически они лишены всех перечисленных выше недостатков стеклохолстов. Прочность полиэтиленхолстов на разрыв в 5—7 раз выше, чем стеклохолстов, что позволяет механизировать их укладку. Они абсолютно безопасны в обращении, не размокают, морозостойки, эластичны, однородны по составу. По нашему мнению, со временем полиэтиленхолсты должны стать основным материалом для фильтров мелиоративного дренажа, тем более для пластмассовых труб. Дело в том, что уже разработана технология нанесения ПЭ-холстов на трубы в заводских условиях одновременно с их экструзией. Применение труб с фильтром-оболочкой

из ПЭ-холста позволит полностью механизировать процессы строительства дренажа, внедрять наиболее прогрессивный бестраншейный способ.

Таблица 12

Материалы и оптимальные способы защиты горизонтального трубчатого дренажа от механического заиливания в различных по составу грунтах

Характеристика грунта	Рекомендуемые материалы фильтров и способы их укладки
Глины, тяжелые суглинки и тяжелые супеси	Стеклохолст сплошным слоем вокруг труб Стеклохолст сплошным слоем сверху труб (на $\frac{2}{3}$ периметра) при размерах водоприемных отверстий в трубах не более 3 мм Песчано-гравийная смесь слоем > 10 см, подобранная из условия непросыпаемости фильтра через водоприемные отверстия в трубах Во всех случаях присыпка фильтра грунтом из пахотного слоя на высоту 20—30 см
Супеси и пылеватые суглинки	Стеклохолст сплошным слоем вокруг труб Стеклохолст сплошным слоем вокруг труб и торфо-крошка слоем 4—5 см сверху Песчано-гравийные смеси слоем > 10 см, подобранные из условия непросыпаемости фильтра в трубы
Мелкозернистые и пылеватые пески	Стеклохолст сплошным слоем вокруг труб Стеклохолст сплошным слоем вокруг труб и торфокрошка слоем 4—5 см сверху Во всех случаях присыпка грунтом из пахотного слоя на высоту 15—25 см и немедленная засыпка траншей на всю глубину
Плывуны	Стеклохолст в 2—3 слоя вокруг труб, присыпка слоем 4—5 см торфокрошки и гумусным грунтом из пахотного слоя на высоту 20—30 см. Немедленная засыпка траншей на всю глубину.
Средне- и крупнозернистые пески	Стеклохолст сплошным слоем (с проверкой условий неcolmатируемости суффозионными частицами) Без фильтров при размерах водоприемных отверстий $< 1,5$ мм и наличии в грунте частиц $> 1,0$ мм не менее 40%.
Торф низинный плотный ($\gamma_{ск} > 0,09$ г/см ³ , $R \leq 35\%$)	Стеклохолст сплошным слоем сверху (на $\frac{2}{3}$ периметра) труб, присыпка сухим торфом из верхнего слоя почвы, немедленная засыпка траншей на всю глубину
Торф низинный малой плотности ($\gamma_{ск} < 0,08$ г/см ³ , $R > 35\%$)	Стеклохолст сплошным слоем, присыпка слабо-разложившимся сухим торфом ($R \leq 15\%$) слоем 10—15 см, немедленная засыпка траншей на всю глубину

В табл. 12 приведены рекомендуемые материалы в качестве фильтров дрен и наиболее приемлемые способы их укладки.

ОСУШИТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ ДРЕНАЖА

ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРОВ НА ОСУШИТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ ДРЕНАЖА

Сложилось так, что при исследованиях, проектировании и строительстве горизонтального трубчатого дренажа вопросы защиты его от заиления и осушительного действия решались раздельно. Одни исследователи при решении научных и практических аспектов защиты дренажа игнорировали вопросы осушительного его действия. Другие при разработке методов фильтрационных расчетов, т. е. установлении осушительного действия дренажа, не обращали внимания на наличие или отсутствие защитных фильтров, их свойства и влияние на сток. Все это часто приводило к неверным рекомендациям, неэкономичным решениям и ко многим другим отрицательным последствиям. Достаточно сказать, что одно время предлагалось гончарные трубы укладывать без фильтра, но как можно плотнее (с зазором около 0,1 мм, для чего рекомендовалось обтачивать торцы трубок на специальных наждачных станках). Предлагалось также устраивать фильтры из менее проницаемого материала, чем дренируемый грунт, например, в песчаном грунте устраивать круговой фильтр из перемятого и утрамбованного торфа и т. п. При выполнении указанных рекомендаций трубы действительно не заилялись, но и дренаж нормально функционировать не мог, осушительное действие его было очень низким.

Комплексный подход, основанный на взаимосвязи защитных мероприятий с приточностью воды к дренам и их осушительным эффектом, наметился только в начале 60-х годов. Теоретические исследования и многочисленные эксперименты показали, что оба решения тесно связаны, и даже в тех случаях, когда по грунтовым условиям и конструктивным параметрам труб дренаж можно укладывать без фильтров, делать этого не следует. И вот почему. Если, к примеру, дренаж из гончарных труб уложен без фильтра, то грунтовый поток при подходе к щелям

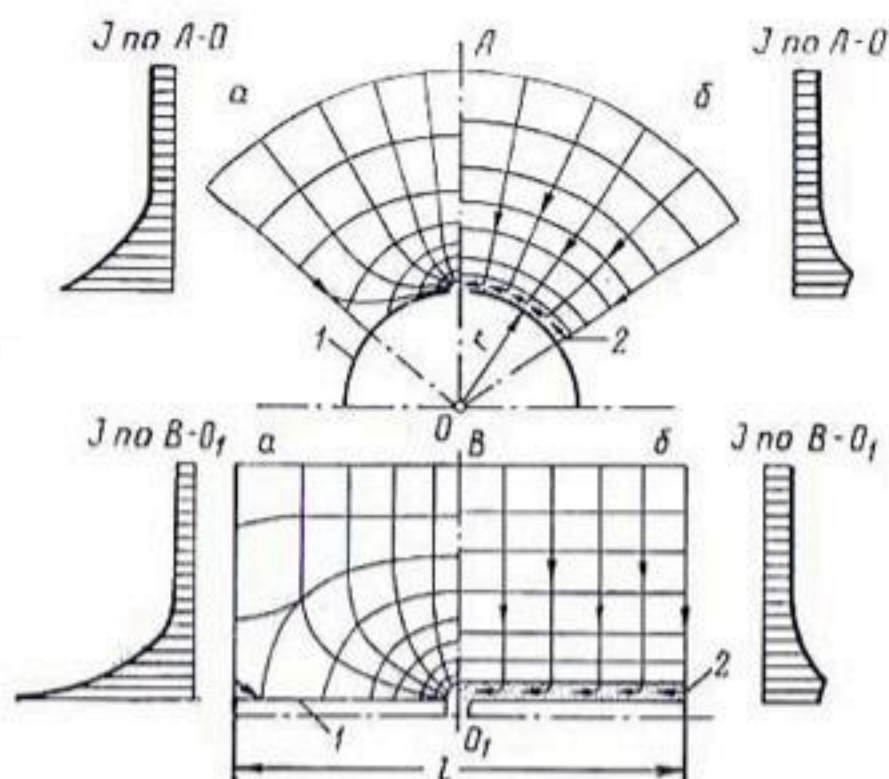


Рис. 13. Схемы притока воды к дренам и эпюры градиентов: сверху — к трубе с тремя рядами продольных щелей, внизу — с поперечными стыковыми зазорами (щелями); а — без фильтра, б — с фильтром; 1 — труба; 2 — фильтр.

сильно сжимается, притом в двух направлениях. С одной стороны, идет сжатие в плоскости перпендикулярной оси дрены (см. рис. 3), с другой — вдоль оси, так как щели расположены через 0,33 м, а стенки не фильтруют. Вследствие этого в околосдренной области создается потенциальное течение с очень большими градиентами. Притом основная доля полезного напора теряется около щелей (по некоторым данным до 50% на расстоянии 2,5 см от щели). Все это приводит к тому, что приток воды к дрене (ее водозахватная способность) очень незначительный.

Если вокруг гончарной дрены уложить правильно подобранный фильтр ($k_f \gg k_{гр}$), то структура грунтового потока существенно изменится (рис. 3 и 13). Сжатие будет идти преимущественно в перпендикулярной к оси дрены плоскости, а вдоль оси и особенно в пределах фильтра потери напора будут незначительны. Меняются и эпюры градиентов напора при подходе к щелям. Все это приводит к тому, что приток воды к дрене намного увеличится. Аналогичная картина имеет место и в случае пластмассового дренажа. При подходе к перфорационным отверстиям, если нет фильтра, сжатие идет в двух плоскостях, при наличии фильтра — преимущественно в одной. Следует также иметь в виду, что фильтр как бы увеличивает дей-

ствующий диаметр дрены. Экспериментов (полевых и лабораторных), полностью подтверждающих указанные выше положения, более чем достаточно [32, 35, 49]. Рассмотрим основные факторы, влияющие на величину изменения водозахватной способности дренажа при наличии фильтров и без них.

1. *Конструктивные параметры дренажных труб* (размеры, расположение и количество водоприемных отверстий). Чем лучше конструкция дренажной трубы, т. е. чем больше размеры водоприемных отверстий и чем равномернее и чаще они расположены, тем больше приток воды к дрене при отсутствии фильтра и меньше относительное увеличение притока при его наличии (при прочих равных условиях).

Самым несовершенным по степени вскрытия поверхности труб является гончарный дренаж. Водоприемные щели имеют на практике ширину в среднем 1—3 мм, расположены они через 33 см по длине, общая площадь их на 1 пог. м дрены колеблется в пределах 3—6 см². Без фильтров водозахватная способность гончарного дренажа малая; она закономерно возрастает с увеличением ширины стыковых зазоров. Проведенные нами [32] эксперименты показали, что с увеличением зазоров между трубами $D_{\text{вн}}=50$ мм с 0,25 до 3,0 мм дренажный сток увеличился на 90%. В то же время укладка вокруг гончарных труб при зазорах между ними 1—2 мм правильно подобранного фильтра увеличивает сток из дрен в 2—3 раза и более.

В пластмассовом дренаже площадь перфорации на 1 пог. м трубы колеблется в пределах 10—20 см². Отверстия расположены относительно равномерно по поверхности труб. Поэтому приток воды к пластмассовому дрена-

жу без фильтра больше, чем к гончарному, а влияние правильно подобранного фильтра сказывается в меньшей степени. Так,

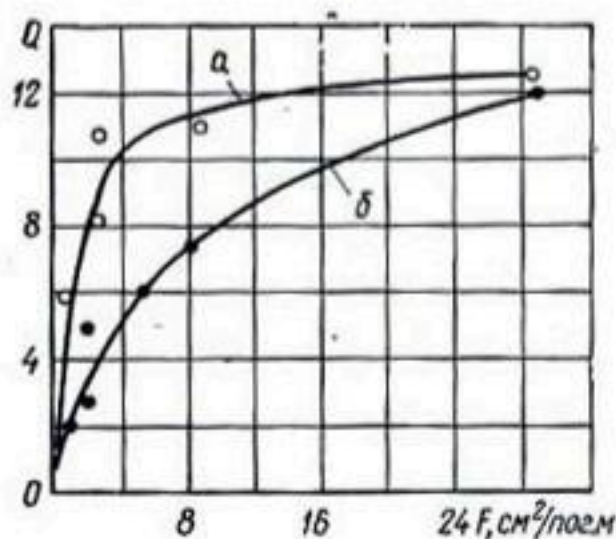
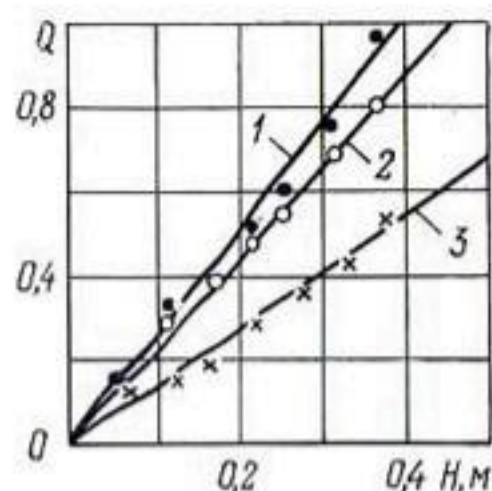


Рис. 14. Зависимость дренажного стока от площади входных отверстий полиэтиленовой дрены $D=40$ мм:

а — фильтр из стеклохолста; б — без фильтра.

Рис. 15. Зависимость дренажного стока (через один стыковой зазор) от напора:

1 — фильтр из стеклохолста толщиной 1 мм; 2 — фильтр из песчано-гравийной смеси толщиной 25 мм; 3 — без фильтра.



при площади перфорации $F = 4 \text{ см}^2/\text{пог. м}$ (рис. 14) увеличение притока воды к дрене Q под влиянием фильтра составило 90%, при $F = 12 \text{ см}^2/\text{пог. м}$ — 36% и $F = 28 \text{ см}^2/\text{пог. м}$ только 12%. Объясняется это тем, что чем больше площадь водоприемной поверхности в трубах, тем меньше входные сопротивления при отсутствии фильтра, и он уже не может существенно их уменьшить и сильно повлиять на увеличение стока.

2. *Соотношение водопроницаемости фильтра и дренируемого грунта.* Чем больше разница между водопроницаемостью фильтра и дренируемого грунта, тем больше влияние его на изменение осушительного действия дренажа. При этом нужно иметь в виду, что изменения могут быть как положительными, так и отрицательными. Если $k_{\text{ф}} < k_{\text{гр}}$, то дренажный сток уменьшается по сравнению с тем, который был бы в случае укладки дренажа без фильтра. И наоборот, чем больше в известных пределах отношение $\frac{k_{\text{ф}}}{k_{\text{гр}}}$, тем больше увеличивается сток. Приведенные в табл. 13 и на рис. 15 результаты опытов в грунтовых лотках с пластмассовыми и гончарными трубами показы-

Таблица 13

Влияние фильтров на дренажный сток

Материал фильтра	$\frac{k_{\text{ф}}}{k_{\text{гр}}}$	Толщина фильтра δ , мм	Дренажный сток Q , см ³ /с		$\frac{Q_1}{Q_0}$
			без филь-тра Q_0	с филь-ром Q_1	
Стеклохолст ВВ-Г	5,3	1,0	48	65	1,35
Стекловата	5,2	12	48	65,1	1,35
Стеклоткань СЭ/ССТ	1,3	0,8	48	49,5	1,03
Стеклоткань Э-0,08	0,32	0,5	48	17,8	0,37

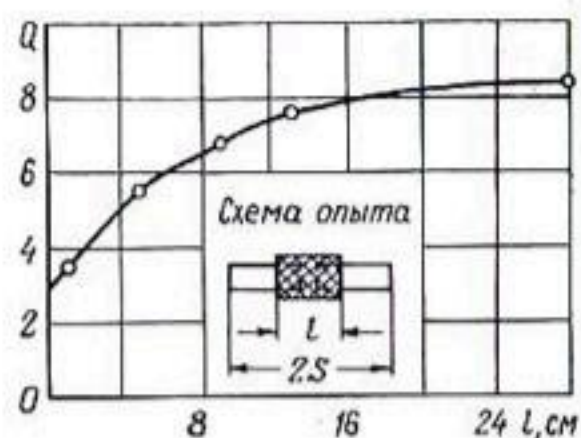
вают, сколь существенно может увеличиться или уменьшиться дренажный сток в зависимости от соотношения $\frac{k_{\phi}}{k_{\text{гр}}}$.

При $k_{\phi} \gg k_{\text{гр}}$ сток возрастал в 1,3—2 раз, а при $k_{\phi} \leq k_{\text{гр}}$ — уменьшался почти в 3 раза. Поэтому, подбирая фильтры, следует учитывать, что их водопроницаемость должна быть намного (в 5—10 раз) больше водопроницаемости осушаемого грунта.

3. Толщина фильтра. Как показывают многочисленные эксперименты в грунтовых лотках и полевые наблюдения, толщина фильтра, если его водопроницаемость намного превышает водопроницаемость дренируемого грунта, оказывает весьма незначительное влияние на изменение водозахватной способности дренажа. Объясняется это тем, что то количество воды, которое поступает к фильтру, он способен пропустить даже при очень малой толщине, поскольку скорости фильтрации в нем при одинаковых с грунтом градиентах намного выше. Так, стеклохолст и стекловата имеют примерно одинаковую водопроницаемость. Толщина стеклохолста 1 мм, стекловаты в уплотненном состоянии 12 мм. Но как видно из табл. 13, оба фильтра оказали один и тот же эффект на увеличение притока воды к дрени. Проведенные эксперименты (рис. 15) свидетельствуют о том, что стеклохолст ($\delta = 1$ мм) оказал даже больший эффект, чем песчано-гравийная смесь ($\delta = 25$ мм). Правда, водопроницаемость стеклохолста была намного выше, чем смеси.

4. Схемы укладки фильтра. Выше рассмотрены случаи, когда фильтр укладывался вокруг труб сплошным слоем, но на практике применяют различные схемы. Гончарные трубы часто укладывают с фильтром только на стыках в виде полос структурного материала (стеклохолст и др.) небольшой ширины, иногда фильтр укладывается только сверху и т. д. Естественно, что на увеличение водозахватной способности дренажа влияние фильтров, уложенных по указанным схемам, будет меньшим, чем при сплошном круговом фильтре. На рис. 16 приведены результаты опытов в грунтовом лотке по изучению влияния ширины полосы фильтра l , укладываемого вокруг поперечной щели, на изменение стока из дрены. Установлено, что с увеличением ширины полосы приточность воды закономерно возрастает. Наиболее интенсивное нарастание происходит при увеличении ее до размеров, равных

Рис. 16. Влияние ширины защитной полосы стеклохолста на приток воды к дрене. (Трубы ПВП, $D=40$ мм, длина поперечной щели 50, ширина 1 мм; площадь $1,8 \text{ см}^2/\text{пог. м.}$)



половине расстояния между поперечными щелями (стыками).

Итак, защитные фильтры не только предохраняют дренаж от механического заиления, но и существенно (в 2—3 раза и более) увеличивают его водозахватную способность, что позволяет намного улучшить осушительное действие мелиоративных систем и увеличить расстояния между дренажными линиями. Поэтому в абсолютном большинстве случаев фильтры необходимы. Наиболее приемлемой схемой укладки фильтров является сплошная. Влияние фильтра на сток зависит от конструктивных параметров самих дренажных труб, схемы укладки фильтра, его толщины и водопроницаемости. Наиболее существенным фактором влияния на приточность воды к дренам является соотношение водопроницаемости фильтра и осушаемого грунта.

РАСЧЕТ МЕЖДРЕННЫХ РАССТОЯНИЙ

В мелиоративной практике в настоящее время находят применение самые разнообразные дренажные трубы: керамические различных длин и диаметров с нефилтрующими стенами, пластмассовые и асбестоцементные со щелевой или круговой перфорацией, пленочные с различными замковыми сочленениями, трубофильтры с пористыми стенками. Дренаж, как правило, без защитных от заиления фильтров не укладывается, за исключением трубофильтров.

Для защиты дренажных труб от механического заиления используются фильтрующие оболочки из различных материалов (мох, песчано-гравийные смеси, стеклохолсты, стекловойлок и т. п.), существенно отличающихся по водопроницаемости. Толщина фильтров колеблется (от 1 мм до 20 см). В некоторых случаях дренажные трубы допускается укладывать без защитных фильтров.

Абсолютное большинство применяемых в настоящее время дренажных труб имеет нефiltrующие стенки, а грунтовая вода поступает внутрь их через стыковые зазоры или перфорационные отверстия. Такие трубы называют «несовершенными по характеру вскрытия пласта». Под этим термином понимают форму и степень вскрытия поверхности дренажной трубы. Степень несовершенства конструкции дренажной трубы определяет величину добавочных сопротивлений, вызванных сгущением линий токов у водоприемных отверстий, повышением скорости фильтрации и возрастанием градиентов давлений. Как следствие, водозахватная (водоприемная) способность несовершенной по характеру вскрытия пласта дрены намного меньше, чем «идеальной» — полости в грунте.

С другой стороны, укладка вокруг дренажных труб хорошо фильтрующих оболочек существенно ослабляет влияние несовершенства конструкции трубы на ее водозахватную способность. Фильтры не только предохраняют трубы от механического заиливания, но и значительно увеличивают приток воды в дрены вследствие улучшения условий подхода грунтового потока к водоприемным отверстиям, оказывают большое влияние на их осушительный эффект и, следовательно, на расчетные расстояния между дренажными линиями.

Между тем применяемые в настоящее время методы расчета расстояний между дренажными линиями не учитывают влияния указанных выше факторов в их совокупности. Совсем необоснованно при выводе расчетных формул большинство авторов допускают, что дренажная труба является идеальной, или совершенной, точнее, полостью в грунте, принимающей воду всей своей поверхностью. При этом рекомендуют при наличии фильтров диаметры труб в расчетных формулах принимать равными диаметру фильтра, а без него — диаметру дрены. Обе рекомендации нельзя считать правильными. Всякий фильтр оказывает сопротивление движению воды. Если же он отсутствует, дополнительные сопротивления бывают довольно большими и их игнорирование может привести к существенным ошибкам. Известные решения [56, 67] с учетом несовершенства конструкций труб игнорируют влияние фильтра. Первые наши [31, 35] решения по учету влияния конструкций труб и фильтров также нельзя считать совершенными. Введенные нами в расчетные формулы величины коэффициентов влияния филь-

ров, полученные экспериментальным путем, строго говоря, действительны только для условий проведенных опытов и не могут быть распространены на все многообразие практических расчетов.

Приток воды на единицу длины дрены (скважины) в общем случае может быть выражен следующей зависимостью:

$$Q = \frac{2\pi kH}{\Phi_0 + \Psi_\Phi + C_{др}},$$

где Φ_0 — фильтрационное сопротивление идеальной дрены, определяемое граничными условиями фильтрации;

Ψ_Φ — приращение фильтрационных сопротивлений, обусловленное наличием фильтра;

$C_{др}$ — фильтрационное сопротивление, обусловленное несовершенством конструкции дренажной трубы.

Сопротивления фильтра, если он подобран правильно и не кольматируется в процессе работы дренажа, зависят от его толщины δ и водопроницаемости k_Φ . Величина дополнительных сопротивлений на несовершенство конструкции трубы определяется ее диаметром, расположением и формой водоприемных отверстий. При отсутствии фильтра $\Psi_\Phi = 0$, для идеальной трубы $C_{др} = 0$, совершенной скважины (идеальной дрены в радиальном потоке) $\Phi_0 = \ln \frac{R}{r_0}$, горизонтального трубчатого дренажа $\Phi_0 = \frac{4l}{D}$, где l — глубина дрены.

Для выявления сущности предлагаемого нами метода фильтрационных расчетов дренажа и простоты выкладок рассмотрим сначала дренаж (скважину) в радиальном потоке: труба не имеет стенок, уложена с фильтром толщиной δ , коэффициент фильтрации которого равен k_Φ . Эта схема приемлема для трубофильтра, у которого δ — толщина пористой стенки трубы. Поскольку движение осесимметрично, достаточно рассмотреть верхнюю половину области фильтрации (рис. 17, а) и полученный результат удвоить. Решение выполним методом конформных отображений:

1. Расчетную область фильтрации z отображаем на промежуточную прямоугольную область ω с помощью логарифмической функции

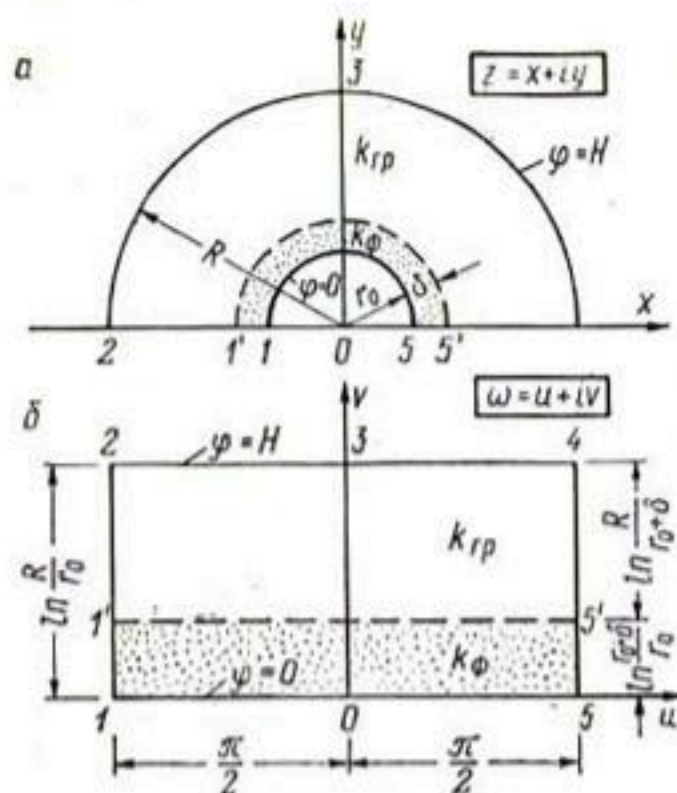


Рис. 17. Расчетная схема:
а — область фильтрации; б — нормальный прямоугольник.

$$\omega = A \ln z + B, \quad (60)$$

где $z = x + iy$; $\omega = u + iv$; A и B — постоянные.

Приняв основание прямоугольника равным π и определив постоянные A и B из соответствия точек 2, 3 и 5, находим отображающую функцию

$$\omega = \frac{\pi}{2} + i \ln \frac{z}{r_0}. \quad (61)$$

По (61) определяем высоту прямоугольника и расстояние между точками 5—5' и 5'—4:

$$5' - 4 = l_{gp} = \ln \frac{R}{r_0 + \delta} = \ln \frac{R}{r_0} \cdot \frac{r_0}{r_0 + \delta}; \quad (62)$$

$$5 - 5' = l_{\phi} = \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}. \quad (63)$$

Область фильтрации (рис. 17, б) представляет собой прямоугольник с двухслойным грунтом и горизонтальной границей раздела. Расход воды через нее выражается зависимостью

$$Q_1 = \frac{\pi k_1 k_2 H}{l_1 k_2 + l_2 k_1}, \quad (64)$$

где

$$k_1 = k_{gp}; \quad k_2 = k_{\phi}; \quad l_1 = \ln \frac{R}{r_0} \cdot \frac{r_0}{r_0 + \delta}; \quad l_2 = \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}.$$

Умножив (64) на 2, получим приток воды к дрене с фильтром (трубофильтру)

$$Q = \frac{2\pi k_{gp} H}{\ln \frac{R}{r_0} + \ln \frac{r_0}{r_0 + \delta} + \frac{k_{gp}}{k_{\phi}} \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}}. \quad (65)$$

Обозначив

$$\psi_{\phi} = \ln \frac{r_0}{r_0 + \delta} + \frac{k_{gp}}{k_{\phi}} \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0} \quad (66)$$

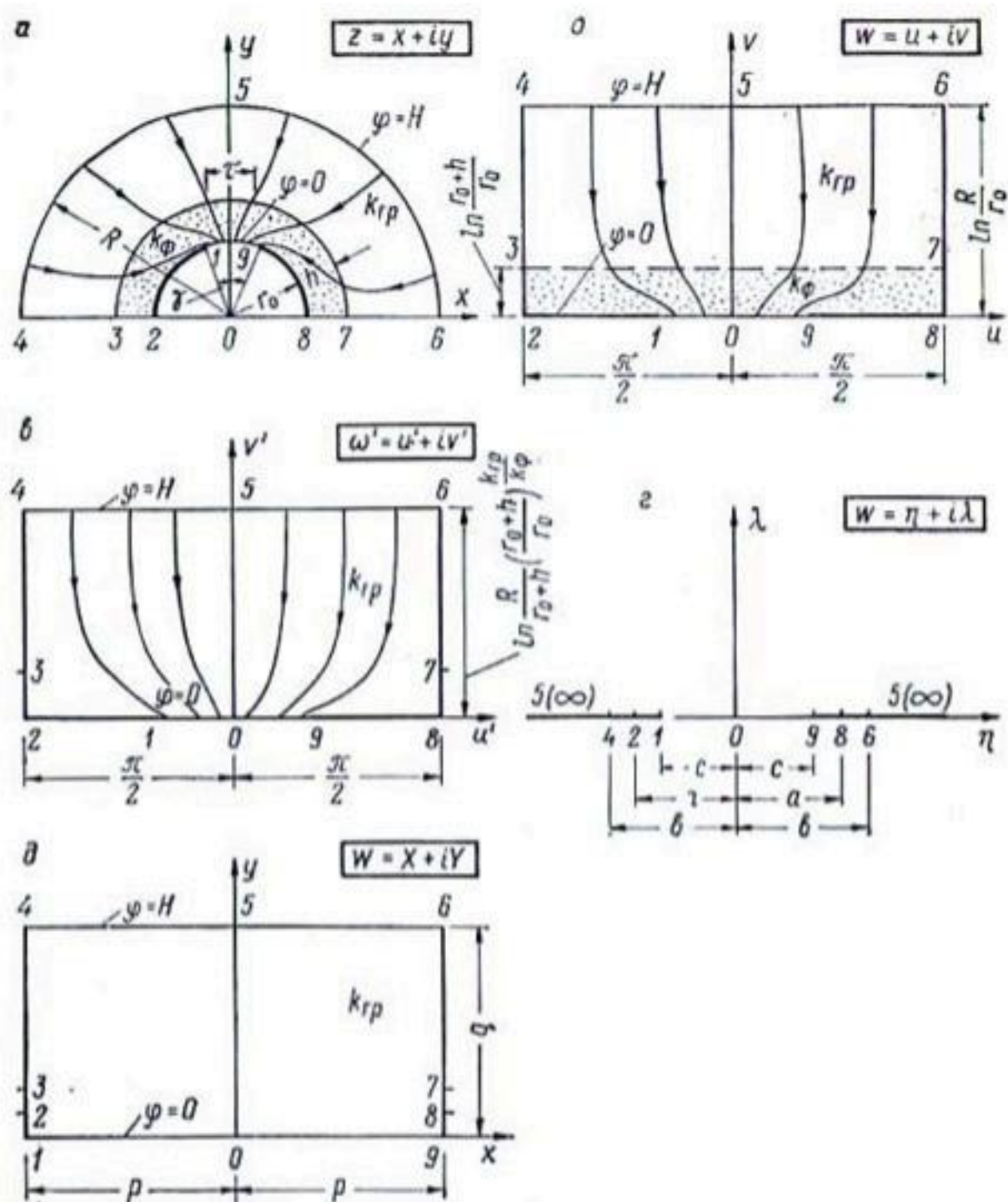


Рис. 18. Схема конформных отображений.

и учитывая, что $\Phi_0 = \ln \frac{R}{r_0}$, получим

$$Q = \frac{2\pi k_{rp} H}{\Phi_0 + \Psi_\phi}. \quad (67)$$

Из (66) при $\delta=0$, $\Psi_\phi=0$ имеем идеальную дренаж без фильтра. То же получаем при $k_{rp}=k_\phi$.

Рассмотрим теперь приток воды к дренажной трубе (скважине), имеющей две сплошные щели по концам вертикального диаметра и круговой фильтр толщиной δ (рис. 18, а). Примем такую последовательность решения:

1. Расчетную область фильтрации z отображаем на прямоугольную область ω (рис. 18, б) с помощью логарифмической функции (61).

2. Промежуточный прямоугольник приведен к однородному грунту (рис. 18, в).

3. Промежуточный прямоугольник (рис. 18, в) отображим на вспомогательную полуплоскость (рис. 18, г) так, чтобы начало координат совпало, а точка b , в кото-

рой $v'_5 = i \ln \frac{R}{r_0 + \delta} \left(\frac{r_0 + \delta}{r_0} \right)^{\frac{k_{rp}}{k_\phi}}$, перешла в бесконечность в плоскости ω . Применяем формулу Кристоффеля — Шварца и выполнив ряд преобразований, получим:

$$\frac{K}{K_1} = \frac{\pi}{2 \ln \frac{R}{r_0 + \delta} \left(\frac{r_0 + \delta}{r_0} \right)^{\frac{k_{rp}}{k_\phi}}}, \quad (68)$$

где K и K_1 — полные эллиптические интегралы соответственно при модуле k и $k_1 = \sqrt{1-k^2}$.

4. Отображаем нормальный прямоугольник со сторонами $2p$ и q на верхнюю полуплоскость ω . По формуле Кристоффеля — Шварца

$$W = A_2 \int_0^w \frac{dw}{\sqrt{(b^2 - w^2)(c^2 - w^2)}} + B_2, \quad (69)$$

или

$$W = A'_2 F(\varphi, k_1) + B_2,$$

где $F(\varphi, k_1)$ — эллиптический интеграл первого рода при модуле

$$k_1 = \frac{c}{b}; \quad \varphi = \arcsin \frac{w}{c}.$$

После определения постоянных из соответствия точек

$$\frac{K_1}{K'_1} = \frac{p}{q}, \quad (70)$$

где K_1 и K'_1 — полные эллиптические интегралы соответственно при модуле k_1 и $k'_1 = \sqrt{1-k_1^2}$.

Отношение модулей четвертого и третьего преобразований:

$$\frac{k_1}{k} = \frac{c}{a} = \operatorname{Sn} \left(K \frac{\theta_1}{\pi}, k \right), \quad (71)$$

где $\operatorname{Sn}(u, k)$ — эллиптический синус Якоби;

$$\theta_1 = 2 \arcsin \frac{\tau}{2r_0}. \quad (72)$$

Фильтрационный расход нормального прямоугольника

$$Q_1 = 2k_{rp}H \frac{p}{q} = 2k_{rp}H \frac{K_1}{K_1'}. \quad (73)$$

Сделав известные упрощения эллиптических функций, для случая $k \rightarrow 0$, после ряда преобразований будем иметь

$$\begin{aligned} \frac{K_1}{K_1'} &= \\ &= \frac{\pi}{\ln \frac{R}{r_0} + \ln \frac{r_0}{r_0 + \delta} + \frac{k_{rp}}{k_{\phi}} \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0} + \frac{k_{rp}}{k_{\phi}} \ln \frac{2r_0}{\tau_0}}. \end{aligned} \quad (74)$$

Подставив в (73) значение (74), получим

$$Q = \frac{2\pi k_{rp}H}{\Phi_0 + \Psi_{\phi} + C_{др}}, \quad (75)$$

где

$$C_{др} = \frac{k_{rp}}{k_{\phi}} C_i; \quad (76)$$

$$C_i = \ln \frac{2r_0}{\tau_0}, \quad (77)$$

C_i — фильтрационные сопротивления дрен, обусловленные несовершенством конструкции трубы.

Из (77) при $\tau_0 = 2r_0$ (пористая труба) $C_i = 0$ получаем приток воды к идеальной дрене с фильтром (трубофильтру). При $\delta = 0$ (отсутствие фильтра) $\Psi_{\phi} = 0$ имеем приток к дрене без фильтра ($\Phi_0 \neq 0$; $C_{др} \neq 0$).

По методу, изложенному выше, можно получить расчетные формулы притока воды к дренажным трубам различных конструкций.

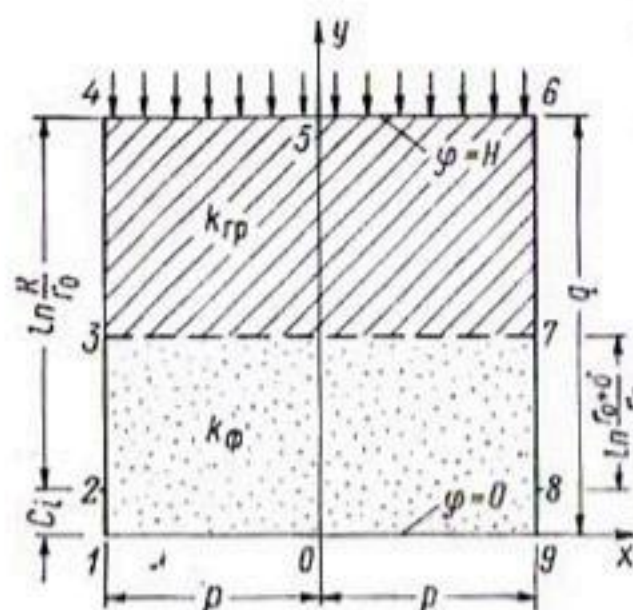


Рис. 19. Нормальный прямоугольник.

В общем случае при решении задач о нахождении коэффициента несовершенства водоприемной поверхности труб в однородном грунте по методу конформных отображений результат получается в виде

$$Q = \frac{2\pi k_{гр} H}{\ln \frac{R}{r_0} + C_i}.$$

На нормальном прямоугольнике (рис. 19) C_i равно длине участка 1—2, а $\ln \frac{R}{r_0}$ — участку 2—4. При наличии фильтра часть длины нормального прямоугольника 2—3 есть не что иное, как $\ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}$, где δ — толщина фильтра.

Обозначим:

$$l_1 = 3 \div 4 = \ln \frac{R}{r_0} - \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}; \quad (78)$$

$$l_2 = 1 \div 3 = \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0} + C_i. \quad (79)$$

Расход нормального прямоугольника в случае двухслойного грунта определяется зависимостью

$$Q = \frac{2\pi k_{гр} k_{ф} H}{l_1 k_{ф} + l_2 k_{гр}} = \frac{2\pi k_{гр} H}{l_1 + \frac{k_{гр}}{k_{ф}} l_2}. \quad (80)$$

Подставив в (80) значения (78) и (79), получим

$$Q = \frac{2\pi k_{гр} H}{\ln \frac{R}{r_0} + \ln \frac{r_0}{r_0 + \delta} + \frac{k_{гр}}{k_{ф}} \left(\ln \frac{r_0 + \delta}{r_0} + C_i \right)}. \quad (81)$$

Таким образом, решение (81) является общим для дренажной трубы любой конструкции.

Величины C_i для различных конструкций дренажных труб приведены в работах [23, 35, 56, 59, 60] и определяются следующими зависимостями:

а) трубы гончарные (формула Н. Т. Эфендиева)

$$C_i = C_r = \frac{1}{\pi} \ln \frac{4S_1}{D} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\tau_1}{S_1}}; \quad (82)$$

б) трубы пластмассовые с продольно щелевой перфорацией [23]

$$C_i = C_m = \frac{2S}{nl} \ln \frac{1}{\sin \frac{nl}{2S} \theta}, \quad n \geq 2; \quad (83)$$

$$\theta = \arcsin \frac{\tau_0}{D}; \quad (84)$$

в) трубы пластмассовые с двумя рядами несимметрично расположенных щелей [35]

$$C_i = C_{2,n} = \frac{S}{l} \ln \frac{1}{\cos \frac{\pi - \varphi}{2} \sin \frac{l}{S} \theta}; \quad (85)$$

г) трубы пленочные (одна продольная щель) [35]

$$C_i = C_1 = \ln \frac{2}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_0}{D}\right)^2}}; \quad (86)$$

д) трубы с круглыми водоприемными отверстиями [56]

$$C_i = C_d = \frac{49,4 (1,012 d_0^{-1,82} + 1)}{\left(\frac{n}{S}\right)^{(0,0066 d_0^{4,5} + 1,033)}}, \quad d_0 \text{ в см, } S \text{ в м,} \quad (87)$$

где D — наружный диаметр трубы;
 τ_0, τ_1 — ширина щелей (стыковых зазоров между керамическими трубами);
 l — длина щелей;
 d_0 — диаметр водоприемных круглых отверстий;
 S, S_1 — шаг перфорации (длина дренажной трубы);
 φ — угол между рядами перфорации;
 n — число рядов перфорации.

Таким образом, приток воды к дрене в общем случае (наличие или отсутствие фильтра, несовершенная поверхность) определяется зависимостью (75), в которой Ψ_Φ находят по формуле (66), $C_{др}$ — по (76), C_i — по (82) — (87).

Применим полученные зависимости для Ψ_{ϕ} и $C_{др}$ при выводе формул для расчета междренних расстояний, используя метод фильтрационных сопротивлений, который позволяет несовершенные дрены и скважины привести к эквивалентным совершенным. Фильтрационные сопротивления участка потока Φ определяются как отношение потерь напора на нем к расходу, протекающему через этот участок. Общие сопротивления складываются из сопротивлений отдельных его участков. Основным положением метода является выделение сопротивлений в зонах с резко деформированным характером фильтрационного потока. Если зоны резкой деформации располагаются на достаточно большом расстоянии от областей питания и друг от друга, то фильтрационные сопротивления в этих зонах могут определяться только локальными условиями формирования потока в этих зонах независимо от условий формирования всего фильтрационного потока в целом.

Согласно общим принципам метода сопротивлений фильтрационный поток на некотором расстоянии от дрены или скважины определяется только расходом потока, забираемого дренами или скважинами независимо от того, являются они совершенными или несовершенными. Разница в структуре потоков, образующаяся таким образом, имеет место только вблизи дрен или скважин и обуславливает потери напора, необходимые на подход потока к дренам или скважинам в непосредственной близости от них [55].

Метод фильтрационных сопротивлений применительно к горизонтальному дренажу основан на том, что несовершенную (по степени и характеру вскрытия пласта) дрена с напором H_d заменяют совершенным каналом с напором H_d , вводя приведенное сопротивление несовершенной дрены $\Phi_{нд}$. Потери напора $H_d - H_d$, определяемые этим сопротивлением, выражаются общей зависимостью (рис. 20)

$$H_d - H_d = \frac{q_d}{km} \bar{\Phi}_{нд}; \quad (88)$$

$$\bar{\Phi}_{нд} = km\Phi_{нд}, \quad (89)$$

где q_d — погонный приток к дрене;

$\Phi_{нд}$ — фильтрационные сопротивления.

В условиях неустановившейся фильтрации величины приведенных сопротивлений изменяются во времени, од-

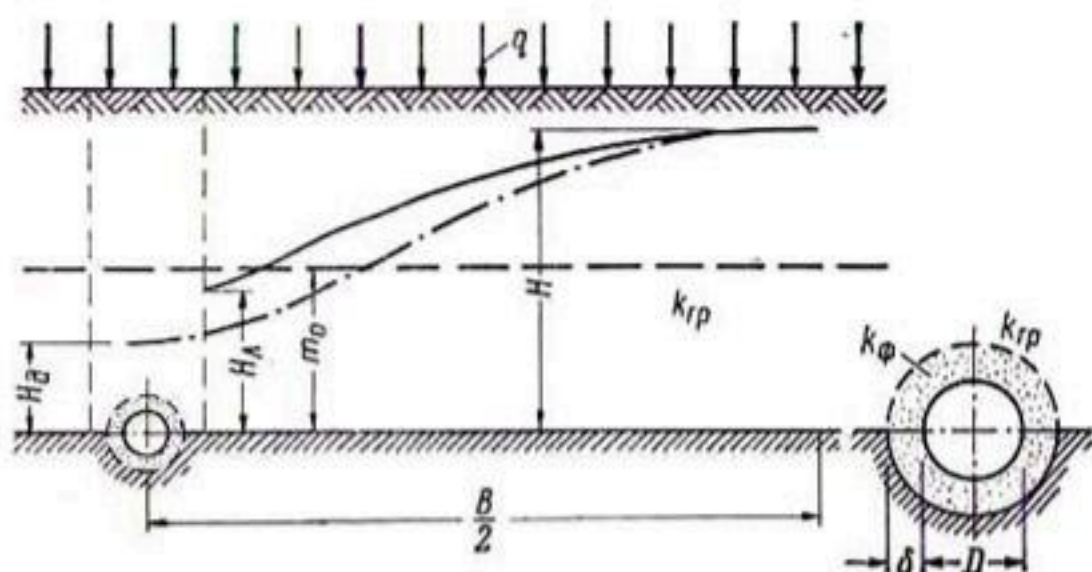


Рис. 20. Дрена на водоупоре (расчетная схема).

нако они довольно быстро стремятся к своему предельному установившемуся значению, так что при расчетах водопонижения и дренажа эти величины практически можно считать постоянными [37, 55].

Рассмотрим горизонтальную дрена на водоупоре. В данном случае она является несовершенной только по характеру вскрытия пласта (поверхности). При постоянной проводимости пласта и наличии инфильтрации с интенсивностью q погонный приток к дренам, расположенным на расстоянии B ,

$$q_d = qB. \quad (90)$$

Заменим дрена на водоупоре совершенным каналом с напором $H - H_d$. Для него связь между H и H_d выражается известным уравнением

$$H = H_d + \frac{qB^2}{8km_0}. \quad (91)$$

Из уравнения (88) с учетом (90) находим

$$H_d = H_d + \frac{qB}{km_0} \bar{\Phi}_{нд}. \quad (92)$$

Подставив значение H_d в (91) и обозначив

$$km_0 = T, \quad (93)$$

получим

$$H = H_d + \frac{qB}{8T} (B + 8\bar{\Phi}_{нд}). \quad (94)$$

Приняв напор в дрене $H_d = 0$ и разрешив (94) относительно B , получим формулу для расчета расстояний между дренами на водоупоре

$$B = 4 \left(\sqrt{\bar{\Phi}_{нд}^2 + \frac{HT}{2q}} - \bar{\Phi}_{нд} \right). \quad (95)$$

Для определения фильтрационных сопротивлений дрены на водоупоре воспользуемся решением П. Я. Полубариновой-Кочиной [43]

$$q = - \frac{\pi k (H - H_{др})}{\ln \operatorname{th} \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r}{T}} \approx \frac{\pi k (H - H_{др})}{\ln \frac{4T}{\pi D}}.$$

В случае инфильтрационного питания можно приближенно принять мощность слоя $T = m_0$ (см. рис. 20).

Тогда

$$q'_d = \frac{\pi k (H_d - H_{др})}{\ln \frac{4m_0}{\pi D}}, \quad (96)$$

а с учетом несовершенства водоприемной поверхности дренажной трубы

$$q'_d = \frac{\pi k (H_d - H_{др})}{\ln \frac{4m_0}{\pi D} + \Phi}. \quad (97)$$

Принимая во внимание, что $q_d = 0,5q'_d$, окончательно получим

$$q_d = \frac{\pi k (H_d - H_{др})}{2 \ln \frac{4m_0}{\pi D} + 2\Phi}. \quad (98)$$

Фильтрационные сопротивления дрены на водоупоре найдем, подставив (98) в (88),

$$\bar{\Phi}_{нд} = \frac{2m_0}{\pi} \ln \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2m_0}{\pi} \Phi. \quad (99)$$

Подставив (99) в (95) и обозначив $L_{нд}^0 = \bar{\Phi}_{нд}$, получим формулу для расчета расстояний между дренами на водоупоре

$$B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^{0^2} + \frac{HT}{2q}} - L_{нд}^0 \right), \quad (100)$$

где

$$T = k_{гр} m_0;$$

$$L_{нд}^0 = 1,47 m_0 \lg \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2}{\pi} m_0 \Phi; \quad (101)$$

$$\Phi = \ln \frac{D}{D + 2\delta} + \frac{k_{гр}}{k_{\phi}} \left(\ln \frac{D + 2\delta}{D} + C_i \right). \quad (102)$$

Пример. Определить расстояния между совершенным каналом, идеальной дренажной на водоупоре и гончарной дренажной без фильтра на водоупоре при следующих данных: $k_{гр} = 1,0$ м/сут; $H = 0,8$ м; $m_0 = \frac{H}{2} = 0,4$ м; $T = k_{гр} m_0 = 1 \cdot 0,4 = 0,4$ м²/сут; $D = 0,072$ м; $\tau_1 = 0,002$ м; $S_1 = 0,33$ м; $q = 0,003$ м/сут.

Находим расстояние между совершенными каналами по (100), приняв $L_{нд} = 0$

$$B = 4 \sqrt{\frac{HT}{2q}} = 4 \sqrt{\frac{0,8 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,003}} = 29,2 \text{ м.}$$

Определим расстояние между идеальными дренажами на водоупоре. При этом $C_i = 0$ и $\Phi = 0$. По (101) и (100)

$$L_{нд} = 1,47 \cdot 0,4 \lg \frac{4 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,072} = 0,5 \text{ м;}$$

$$B = 4 \left(\sqrt{0,5^2 + \frac{0,80 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,003}} - 0,5 \right) = 26,8 \text{ м.}$$

Находим расстояние между гончарными дренажами на водоупоре без фильтра. По формуле (82) вычисляем коэффициент

$$C_i = C_r = \frac{1}{3,14} \ln \frac{4 \cdot 0,33}{0,072} \ln \frac{1}{\sin \frac{3,14 \cdot 0,002}{2 \cdot 0,33}} = 4,31.$$

Поскольку в (102) $\delta = 0$ и $k_{гр} = k_{\phi}$, то

$$\Phi = C_i = 4,31.$$

По (101) фильтрационное сопротивление

$$L_{нд} = 1,47 \cdot 0,4 \lg \frac{4 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,072} + \frac{2}{3,14} 0,4 \cdot 4,31 = 1,60 \text{ м.}$$

По (100) определяем расчетные расстояния между гончарными дренажами

$$B = 4 \left(\sqrt{1,6^2 + \frac{0,8 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,003}} - 1,6 \right) = 22,6 \text{ м.}$$

Итак, в заданных условиях расстояние между совершенными каналами равно 29,2 м, идеальными дренажами — 26,8 м и гончарными

без фильтра — 22,6 м. В последнем случае расстояния по сравнению с совершенным каналом уменьшилось на 22,6%. По существующим сейчас методам расчета этого не должно быть, т. е. следует принимать $B = 29,2$ м. Опыты в фильтрационных лотках и наблюдения в натуре показывают, что осушительное действие совершенной дрены без фильтра и совершенного канала значительно отличаются, сток может быть меньше в 2—3 раза.

Существенным упущением предыдущих исследований являлось то, что при использовании метода фильтрационных сопротивлений необоснованно считалось, будто канал и трубчатая дрена на водоупоре по своему осушительному эффекту равнозначны. В действительности это далеко не так. Дрена из-за большего сжатия потока при подходе к трубам и вследствие нависания принимает гораздо меньше воды, чем канал в тех же условиях.

Учет несовершенства водоприемной поверхности дрен при фильтрационных расчетах дренажа, предложенный Н. Т. Эфендиевым, заключается в том, что в формуле С. Ф. Аверьянова коэффициент «висячести» дополнен коэффициентом несовершенства поверхности гончарных труб Φ . Формула расчета расстояний между дренами в однородном грунте при неглубоком залегании водоупора имеет вид

$$B = \sqrt{B_0^2 + (TB)^2} - TB, \quad (103)$$

где

$$B_0 = 2H \sqrt{\frac{k}{q} \left(1 + \frac{2T}{H} \right)}; \quad (104)$$

$$B = \frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{D}{T}} + \Phi \right); \quad (105)$$

T — расстояние от оси дрен до водоупора.

Формула (103) дает вполне приемлемые результаты. Но существенным ее противоречием является то, что при $T=0$ (т. е. в случае укладки дрены на водоупоре) получаем

$$B = 2H \sqrt{\frac{k}{q}}, \quad (106)$$

т. е. формулу Роте для канала на водоупоре. Как видим, полностью исчезает влияние несовершенства конструк-

ции дренажной трубы. Расстояния между дренами не зависят от несовершенства конструкции труб и их диаметра, что противоречит действительности. Объясняется это принимаемой равноценностью канала и трубчатой дрены на водоупоре, чего на практике не существует.

Поступление воды в канал происходит по всей площади смоченного периметра и через зону высачивания на откосах. В гончарные дренаы вода поступает через стыковые зазоры. Поэтому водопримная площадь канала во много раз больше, чем дренаы. Например, при глубине воды в канале 0,3 и высоте высачивания 0,1 м она составляет 8000 см²/пог. м. Если допустить, что дрена диаметром 75 мм принимает воду всей своей поверхностью, то и тогда водопримная ее площадь составит 2370 см²/пог. м, или в 3,4 раза меньше, чем канала. Правда, прямой пропорциональности между осушительным эффектом дренажного сооружения и его водопримной поверхностью нет, но чем она больше, тем больше дренируется воды. Следовательно, осушительный эффект канала и дренаы не должен быть одинаковым.

В целях устранения указанных противоречий, учитывая полученное решение для дренаы на водоупоре, необходимо при определении фильтрационных сопротивлений трубчатых дренаы пользоваться дополненной формулой (88), т. е.

$$L_{нд} = km \frac{H_л - H_д}{q_д} + L_{нд}^0, \quad (107)$$

где $L_{нд}^0$ — фильтрационное сопротивление дренаы на водоупоре, определяемое по зависимости (101).

Рассмотрим случай, когда дрена залегает выше водоупора в однородном грунте. По С. Ф. Аверьянову (рис. 21), приток к дренае с учетом несовершенства по характеру вскрытия пласта определяется зависимостью

$$q_д = \frac{2\pi k (H_л - H_д)}{\ln \frac{2m_д}{\pi D} + \Phi}$$

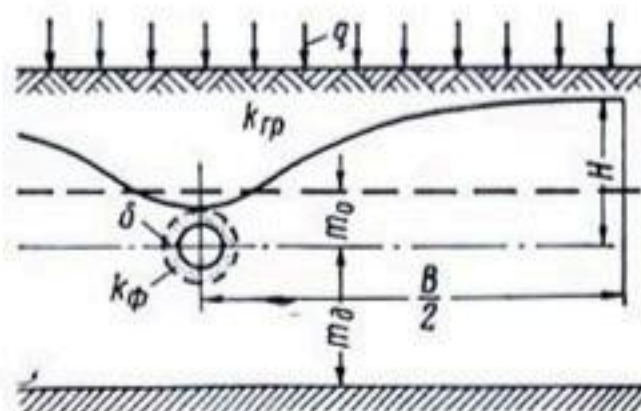


Рис. 21. Дрена в однородном грунте.

Подставив (108) в (107) при $q_d = 0,5 q_d^I$, получим:

$$L_{нд} = \frac{m_d}{\pi} \ln \frac{2m_d}{\pi D} + \frac{m_d}{\pi} \Phi + L_{нд}^0, \quad (109)$$

или с учетом (99)

$$L_{нд} = \frac{m_d}{\pi} \ln \frac{2m_d}{\pi D} + \bar{L}_{нд}^0, \quad (110)$$

где

$$\bar{L}_{нд}^0 = \frac{2}{\pi} m_0 \ln \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2}{\pi} \left(\frac{m_d}{2} + m_0 \right) \Phi. \quad (111)$$

С другой стороны, для дрены, расположенной в однородном грунте выше водоупора (см. рис. 21), грунтовый поток можно разбить на две области: нижнюю — от оси дрены до водоупора мощностью m_d и верхнюю — от оси дрены до УГВ мощностью m_0 . Тогда общие фильтрационные сопротивления будут складываться из сопротивлений нижней зоны, которую следует рассматривать как пласт мощностью m_d , и сопротивлений верхней зоны, полагая, что дрена лежит на водоупоре. При этом следует учесть, что дренажные трубы обладают несовершенством по характеру вскрытия пласта, а также принять во внимание влияние фильтра.

Для дрены, вскрывающей однородный пласт, по известным решениям С. Ф. Аверьянова [2] и В. М. Шестакова [55]

$$L'_{нд} = \frac{1}{\pi} m_d \ln \frac{2m_d}{\pi D}, \quad (112)$$

а с учетом дополнительных сопротивлений

$$L'_{нд} = \frac{1}{\pi} m_d \ln \frac{2m_d}{\pi D} + \frac{m_d}{\pi} \Phi. \quad (113)$$

Из приведенных выше решений для дрены на водоупоре

$$L''_{нд} = \frac{2}{\pi} m_0 \ln \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2}{\pi} m_0 \Phi. \quad (114)$$

Суммируя (113) и (114), получим

$$L_{нд} = \frac{m_d}{\pi} \ln \frac{2m_d}{\pi D} + \bar{L}_{нд}^0, \quad (115)$$

где

$$\bar{L}_{нд}^0 = \frac{2}{\pi} m_0 \ln \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2}{\pi} \left(\frac{m_d}{2} + m_0 \right) \Phi.$$

Таким образом, получим то же равенство (111). При расчетах расстояний между каналами следует полагать $L_{нд}^0 = 0$. При укладке труб идеальных, т. е. при $\delta = 0$, $C_{др} = 0$ и $k_{\phi} = k_{гр}$ из (111), (110) и (102), получим

$$L_{нд} = 0,73m_d \lg \frac{2m_d}{\pi D} + 1,47m_0 \lg \frac{4m_0}{\pi D}. \quad (116)$$

Пример. Определить расстояния между дренами в однородном грунте при неглубоком залегании водоупора и следующих исходных данных: $k_{гр} = 1$ м/сут; $H = 0,8$ м; $m_d = 1$ м; $q = 0,003$ м/сут; $C_l = 4,31$; $D = 0,072$; $S_l = 0,33$ м; $\tau_l = 0,002$ м; $m_0 = \frac{H}{2} = 0,4$; $T = 1,4$ м.

Найдем расстояния между дренами без учета несовершенства труб ($C_l = 0$). По (116)

$$L'_{нд} = 0,73 \cdot 1,0 \lg \frac{2,1}{3,14 \cdot 0,072} + 1,47 \cdot 0,4 \lg \frac{4 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,072} = 1,2 \text{ м.}$$

Используя формулу (100), находим

$$B = 4 \left(\sqrt{1,2^2 + \frac{1,4 \cdot 0,8}{2 \cdot 0,003}} - 1,2 \right) = 50 \text{ м.}$$

Определим расстояния между гончарными дренами, уложенными без фильтра ($C_l = 4,31$). По формуле (102) при $\delta = 0$ и $k_{\phi} = k_{гр}$

$$\Phi = C_l = 4,31;$$

$$\bar{L}_{нд}^0 = 1,47 \cdot 0,4 \lg \frac{4 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,072} + \frac{2(0,5 + 0,4)}{3,14} 4,31 = 2,96 \text{ м.}$$

Общие фильтрационные сопротивления по (115) будут

$$L_{нд} = 0,73 \cdot 1 \lg \frac{2,1}{3,14 \cdot 0,072} + 2,96 = 3,65 \text{ м.}$$

Расстояние между дренами находим по (100)

$$B = 4 \left(\sqrt{3,65^2 + \frac{1,4 \cdot 0,8}{2 \cdot 0,003}} - 3,65 \right) = 42 \text{ м.}$$

Таким образом, при укладке дрен без фильтра в заданных условиях расстояния по сравнению с идеальными дренами должны быть уменьшены на 8 м, или 16%.

Приведенные выше решения можно распространить на случай укладки дренажа в многослойных грунтах. Теоретически наиболее обоснованные формулы для расчета междренних расстояний в неоднородно-слоистых грунтах без учета несовершенства водоприемной поверхности труб и влияния защитных фильтров получены

А. Я. Олейником [37]. Нами [36] сделано дополнение решений А. Я. Олейника на несовершенство труб по характеру вскрытия пласта и учтено влияние защитных фильтров, исходя из принципов метода фильтрационных сопротивлений.

В приведенных расчетных зависимостях толщина фильтра δ принимается равной толщине материала в случае устройства фильтра из искусственных рулонных материалов (стеклохолста, стекловаты, стекловолокна и т. п.). Если в качестве защитных фильтров применяются сыпучие материалы (песчано-гравийная смесь, торфяная крошка, солома, мох и т. п.), то толщину фильтра следует рассчитывать по формуле

$$\delta = \frac{0,53 P_d - D}{2}, \quad (117)$$

где P_d — половина смоченного периметра фильтра.

При укладке дренажа в траншеи с вертикальными стенами и применении сыпучих фильтров толщину их следует принимать по зависимости

$$\delta = \frac{0,53 (b_1 + h_1) - D}{2}, \quad (118)$$

где b_1 — ширина траншеи;

h_1 — высота сыпучего фильтра.

В случае применения трубофильтров величина δ принимается равной толщине стенки трубы.

Полученные решения позволяют, помимо расчетов междренних расстояний при заданных толщинах и водопроницаемости фильтра, подобрать сами фильтры, задать их параметры k_ϕ и δ для любого конкретного случая проектирования. При этом вполне естественно поставить условие — подобрать фильтр таким, чтобы он несовершенную по характеру вскрытия поверхности трубы приводил к идеальной по осушительному действию при том же расчетном наружном диаметре. Для выполнения данного условия необходимо, чтобы

$$\psi_\phi + C_{др} = 0,$$

или

$$\ln \frac{D}{D + 2\delta} + \frac{k_{гр}}{k_\phi} \left(\ln \frac{D + 2\delta}{D} + C_i \right) = 0. \quad (119)$$

Разрешив (119) относительно δ и k_{ϕ} , получим:

$$\delta = \frac{D}{2} \left[\exp \left(\frac{k_{rp}}{k_{\phi} - k_{rp}} C_i \right) - 1 \right], \quad (120)$$

$$k_{\phi} = k_{rp} \left(1 - \frac{C_i}{\ln \frac{D}{D + 2\delta}} \right). \quad (121)$$

Для случая укладки гончарного дренажа

$$\delta = \frac{D}{2} \left[\exp \left(\frac{k_{rp}}{k_{\phi} - k_{rp}} \cdot \frac{1}{\pi} \ln \frac{4S_1}{D} \ln \frac{2S_1}{\pi \tau_1} \right) - 1 \right], \quad (122)$$

$$k_{\phi} = k_{rp} \left(1 - \frac{\frac{1}{\pi} \ln \frac{4S_1}{D} \ln \frac{2S_1}{\pi \tau_1}}{\ln \frac{D}{D + 2\delta}} \right). \quad (123)$$

Для очень тонких фильтров, таких, как стеклохолст, расчетным является продольный коэффициент фильтрации, который с учетом кольматажа, как правило, значительно меньше поперечного. Например, для стеклохолстов типа ВВ-Г, ВВ-Т и др.

$$k_{\phi}^{пр} = (0,05 \div 0,2) k_{\phi}^{поп}.$$

Пользуясь формулами (119) и (120), можно рассчитать необходимую минимальную толщину фильтра при известном коэффициенте его фильтрации или необходимую минимальную водопроницаемость фильтра при заданной его толщине для любого осушаемого грунта и любой конструкции трубы. Рассчитанный по этим формулам фильтр приведет заданную дренажную трубу (D, C_i) к идеальной ($D, C_i=0$) по осушительному эффекту в заданных грунтовых условиях.

Пример 1. Требуется определить минимально необходимую толщину фильтра из стекловолоконного холста, имеющего $k_{\phi} = 100$ м/сут (продольная фильтрация), для гончарных труб внутренним диаметром $D_{вн} = 50$ мм, закладываемых в мелкозернистом песчаном грунте, $k_{rp} = 1,5$ м/сут.

По (81) находим фильтрационные сопротивления, обусловленные несовершенством водоприемной поверхности труб ($D = 0,072$; $S_1 = 0,33$; $\tau_1 = 0,002$ м)

$$C_i = \frac{1}{3,14} \ln \frac{4 \cdot 0,33}{0,072} \ln \frac{1}{\sin \frac{3,14}{2} \cdot \frac{0,002}{0,33}} = 4,31.$$

По (120) находим

$$\delta = \frac{0,072}{2} \left(e^{\frac{1,5}{100-1,5} 4,31} - 1 \right) = 0,00242 \text{ м.}$$

Так как толщина стеклохолста типа ВВ-Т составляет 0,8—1 мм, в заданных условиях необходимо укладывать фильтр в три слоя. Однако на практике его укладывают в один слой. Поэтому расстояния между дренами должны быть меньше, чем для условий идеальной дрены.

Пример 2. Для условий предыдущего примера определить минимальный коэффициент водопроницаемости песчано-гравийного фильтра толщиной 50 мм.

По (123) находим

$$k_{\phi} = 1,5 \left(1 - \frac{4,31}{\ln \frac{0,072 + 2 \cdot 0,05}{0,072}} \right) = 8,85 \text{ м/сут;}$$

$$\frac{k_{\phi}}{k_{rp}} = \frac{8,85}{1,5} = 5,9.$$

При выполнении условия $\frac{k_{\phi}}{k_{rp}} = 5,9$ расстояние между дренами в заданных условиях рассчитываются, как для случая идеальной дрены, но при $D = 0,072$ м. Согласно старым рекомендациям, диаметр дрены следовало бы принимать $D = 0,172$ м, а отсюда расстояния получались бы завышенными.

Отметим, что существующие нормативы требуют, чтобы при укладке песчано-гравийных фильтров выполнялось условие $\frac{k_{\phi}}{k_{rp}} \geq 5$, что вполне согласуется с полученными решениями.

В табл. 14 приведены расчетные расстояния между дренажными линиями, определенные по вышепредложенному методу при следующих исходных данных: трубы гончарные $S_1 = 0,33$ м; $\tau_1 = 0,002$ м; $D = 0,072$ м; $H = 0,8$ м; $k_{rp} = 1,0$ м/сут; $q = 0,005$ м/сут; $m_1 = 5$ м.

Как видно из таблицы, при укладке дрен из гончарных труб без фильтра необходимо уменьшить расстояния в заданных условиях на 25 м, или 36%. Стеклохолст в качестве фильтра существенно улучшает приточность воды к дренам и расчетные расстояния по сравнению с идеальной дренажной должны быть уменьшены только на 13%. Укладка фильтров из песчано-гравийной смеси толщиной 30 см и шириной 50 см (на всю ширину траншеи) позволяет увеличить расстояния между дренами на 10% по сравнению с дренами, обернутыми стеклохолстом. По влиянию на осушительный эффект дренажа стеклохолст

Таблица 14

Диаметр		Характеристика фильтров	$k_{\text{ф}}$, м/сут	δ , м	B , м	B_0 по Олейнику	$\frac{B}{B_0}$	$B_0 - B$, м
$D_{\text{вн}}$	D							
50	72	Без фильтра	—	—	44	69	0,64	25
50	72	Стеклохолст, $\delta=1$ мм	15	0,001	60	69	0,87	9
50	72	Крупнозернистый песок, 50×30 см	15	0,176	65	75	0,87	10
50	72	Гравий, 50×30 см	50	0,176	66	75	0,88	9
50	72	Торфокрошка, $\delta=5$ см	5	0,050	60	71	0,85	11
100	200	Трубофильтр, $\delta=50$ мм	25	0,050	63	72	0,87	9
—	530	Канал, $b=50$, $h_0=25$ см, $h_1=1,4$ м	—	—	76	76	1,0	—

и торфокрошка практически равноценны, хотя первый намного дешевле и долговечнее.

Трубофильтры ($D_{\text{вн}}=100$ мм, $D=200$ мм) по осушительному эффекту занимают промежуточное положение между гончарными трубами со стеклохолстом и гончарными трубами с песчано-гравийными фильтрами. Правда, различие не превышает $\pm 5\%$ (по расстояниям). Следует, однако, отметить, что пока еще не решена задача, как защищать стыки между трубофильтрами от проникновения частиц грунта внутрь труб. Если применять на стыках тот же стеклохолст, то встает вопрос о целесообразности использования трубофильтров.

Расчеты расстояний между дренами по старой методике, когда принимается за наружный диаметр труб наружный диаметр фильтра (или трубы при отсутствии фильтра), дают значительное завышение (в пределах 13—36%).

Как и следовало ожидать, максимальный осушительный эффект (на 2—15% по расстояниям) дают открытые каналы. Однако строительство открытых каналов весьма ограничено условиями производства сельскохозяйственных работ на осушаемых массивах.

МЕТОДИКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ДРЕНАЖА

Рассмотрим методы расчета расстояний между регулирующими горизонтальными трубчатыми дренами, уложенными траншейным и бестраншейным способами с за-

щитными фильтрами из естественных и искусственных материалов и без них. Приточность воды к дренам и их водозахватная способность, определяющая расчетные расстояния между дренажными линиями, зависят от начальных и граничных условий фильтрации, характера напластования грунтов, их водопроницаемости и водоотдачи, климатических условий, конструктивных особенностей самих дренажных труб (их диаметров, длин, размеров, формы и расположения водоприемных отверстий), схем укладки и параметров защитных фильтров (толщины и водопроницаемости). Излагаемые ниже методы фильтрационных расчетов дренажа учитывают практически все перечисленные факторы. Разработаны они на основе обобщения решений, полученных С. Ф. Аверьяновым [2], П. Я. Полубариновой-Кочиной [43], А. Я. Олейником и В. Л. Носиковским [37], В. М. Шестаковым [55] и др. [56, 67], а также собственных теоретических, полевых и лабораторных исследований авторов [32, 35, 36], часть из которых изложена в предыдущих разделах настоящей работы.

Дренажные трубы. В мелиоративной практике гумидной зоны при строительстве горизонтального дренажа применяются трубы:

- керамические (ГОСТ 8411—74, приложение 1);
- пластмассовые гофрированные и гладкостенные (ТУ 6-05-1078-72, МРТУ 6-05-917-68 м, приложения 2 и 3);
- трубофильтры (песчано-цементные, керамические и другие трубы с пористыми стенками).

Маркировка керамических труб производится по внутреннему диаметру (в мм), пластмассовых — по наружному. В фильтрационных расчетах дренажа для труб с нефилтрующими стенками за расчетный принимается наружный диаметр, для трубофильтров — внутренний.

Конструктивные особенности труб (D , S_1 , τ_1 , d_0 , S , l) оказывают существенное влияние на осушительный эффект дренажа, вызывая дополнительные фильтрационные сопротивления, и должны обязательно учитываться в расчетах.

Исходные параметры. Для проведения фильтрационных расчетов горизонтального трубчатого дренажа необходимо предварительно установить следующие показатели:

1. Геолого-гидрогеологическое строение объекта: мощность водоносной толщи, глубина активной зоны,

наличие напорности и боковых притоков, глубина и баланс грунтовых вод, наличие водоупоров, прослоев, разгрузочных окон.

2. Фильтрационные свойства грунтов: водопроницаемость, водоотдача, недостаток насыщения (в практических расчетах недостаток насыщения обычно принимается равным водоотдаче μ).
3. Климатические условия: распределение осадков, испарение, запасы воды в снеге к началу снеготаяния, слой затопления и др.
4. Характер намечаемого сельскохозяйственного использования площадей: культуры, расчетные режимы грунтовых вод (нормы осушения), длительность и сроки начала расчетных периодов.
5. Характеристики дренажных труб: диаметры, длины, размеры стыковых зазоров, форма, размеры и расположение перфорации, водопроницаемость стенок (для трубофильтров).
6. Характеристики фильтров: поперечные и продольные коэффициенты фильтрации, толщины.
7. Глубины заложения дрен, схемы укладки фильтров, схемы расположения регулирующей дренажной сети в плане.

Расчетные периоды. Основные фильтрационные расчеты в гумидной зоне ведутся из условия обеспечения необходимой интенсивности спада УГВ по методу установившейся и неуставившейся фильтрации. Действительный характер работы мелиоративного дренажа описывается условиями неуставившегося режима грунтовых вод. Междренные расстояния более правильно рассчитывать по этому методу. Однако разработан он лишь для ограниченного круга простых фильтрационных схем. Поэтому во многих случаях используется метод установившейся фильтрации при определении напора, интенсивности инфильтрационного питания и дренажного модуля. Этот метод дает некоторый запас в расчетах.

Расчетными периодами являются весенний и летне-осенний. Первый длительностью $t=10-15$ суток после окончания снеготаяния считается основным, второй — проверочный. Фильтрационные расчеты на весенний период предусматривают обеспечение необходимой нормы осушения к началу полевых работ и вегетации растений. Здесь возможны два варианта: а) отсутствие затопления поверхности почвы при расположении УГВ к началу рас-

Расчетные периоды и

Расчетная схема	Расчетные	
	Весенний	
Установившаяся фильтрация <i>a</i> — без затопления <i>b</i> — при затоплении	без затопления	
	Схема <i>a</i>	
Неустановившаяся фильтрация <i>a</i> — при спаде УГВ <i>б</i> — при подъеме УГВ	При расчетах по $H_p = b - a_1 - 0,6(a - a_1) \quad (1.1)^*$ $m_0 = 0,5H_p \quad (1.2); \quad q = \frac{\omega}{t} \quad (1.3);$ $\omega = H_{cn} (1 - \sigma) + (a - a_1) \mu + (p - e) t \quad (1.4);$ для минерального грунта (по Эркину): $\mu = 0,056 \sqrt{k_{rp}} \sqrt[3]{b - H_p} \quad (1.5);$ для торфа (по Ивицкому): $\mu = 0,116 k_{rp}^{3/8} (b - H_p)^{3/4} \quad (1.6);$ $\sigma = 0,8 \quad (i < 0,01);$ $\sigma = 0,8 - 0,9 \quad (0,01 < i < 0,05); \quad (1.7)$ $\sigma = 0,9 - 0,95 \quad (i > 0,05);$ $t = 10 - 15 \text{ сут.}$	
	При расчетах по $H_0 = b - a_1 \quad (1.15); \quad h_t = b - a \quad (1.16);$ $\Delta = a - a_1 \quad (1.17); \quad m'_0 = 0,5h_t \quad (1.18);$ $\mu = 0,056 \sqrt{k_{rp}} \sqrt[3]{\Delta} + \frac{H_{cn} (1 - \sigma) + (p - e) t}{\Delta} \quad (1.19);$ $\mu = 0,116 k_{rp}^{3/8} \Delta^{3/4} + \frac{H_{cn} (1 - \sigma) + (p - e) t}{\Delta} \quad (1.20);$ $\sigma \text{ по (1.7); } t = 10 - 15 \text{ сут.}$	
	При расчетах по $H_0 = b - a_1 \quad (1.31); \quad h_t = a_1 - a \quad (1.32);$ $m_0 = 0,5H_0 \quad (1.33); \quad q =$ $= \frac{H_{cn} (1 - \sigma) + (p - e) t}{t} \quad (1.34);$ $\mu = 0,056 \sqrt{k_{rp}} \sqrt[3]{h_t} \quad (1.35);$ $\mu = 0,116 k_{rp}^{3/8} h_t^{3/4} \quad (1.36);$ $\sigma \text{ по (1.7)}$	

* Здесь и далее в схемах формулы имеют самостоятельную номер формулы в схеме.

исходные параметры [2, 11, 34, 36]

зависимости		
период	Летне-осенний период	
при затоплении	по норме осушения	по скорости освобождения пахотного слоя
Схема б $H_p = b - 0,6a \quad (1.8);$ $m_0 = 0,5H_p \quad (1.9);$ $q \text{ по } (1.3);$ $w = H_p + a\mu + (p - e)t \quad (1.10);$ $\mu \text{ по } (1.5) \text{ или } (1.6);$ $t = 5 - 10 \text{ сут.}$	Схема а $H_p = 0,6(b - \bar{a}) \quad (1.11);$ $w = \Sigma h - (b - \bar{a})\mu - et \quad (1.12);$ $q \text{ по } (1.3);$ $\mu \text{ по } (1.5) \text{ или } (1.6);$ $\bar{a} - \text{норма осушения в летне-осенний период}$	Схема б $H_p = b - 0,6a_0 \quad (1.13);$ $w = H_p + a_0\mu - et \quad (1.14);$ $q \text{ по } (1.3);$ $\mu \text{ по } (1.5) \text{ или } (1.6);$ $t = 1 - 3 \text{ сут.}$
необходимому понижению УГВ (схема а) $H_0 = b \quad (1.21); a_1 = 0;$ $\Delta = a \quad (1.22); h_t \text{ по } (1.16);$ $m'_0 \text{ по } (1.18);$ $\mu = 0,056 \sqrt{k_{rp}} \sqrt[3]{a} + \frac{H_p + (p - e)t}{a} \quad (1.23);$ $\mu = 0,116 k_{rp}^{3/8} a^{3/4} + \frac{H_p + (p - e)t}{a} \quad (1.24);$ $t = 10 - 15 \text{ сут.}$	Схема а $H_0 = b - \bar{a}_1 \quad (1.25);$ $\Delta = \bar{a} - \bar{a}_1 \quad (1.26);$ $h_t = b - \bar{a} \quad (1.27);$ $m'_0 \text{ по } (1.18);$ $\mu = 0,056 \sqrt{k_{rp}} \sqrt[3]{\Delta} + \frac{\Sigma h - et}{\Delta} \quad (1.28);$ $\mu = 0,116 k_{rp}^{3/8} \Delta^{3/4} + \frac{\Sigma h - et}{\Delta} \quad (1.29);$ $\bar{a}_1 - \text{глубина УГВ к началу дождей}$	Схема б $a_1 = 0; H_0 \text{ по } (1.21);$ $h_t = b - a_0 \quad (1.30);$ $\Delta = a_0 \quad (1.31);$ $m'_0 \text{ по } (1.18);$ $\mu \text{ по } (1.23) \text{ или } (1.24) \text{ при } a = a_0;$ $t = 1 - 3 \text{ сут.}$
допустимому подъему УГВ (схема з)	Схема з $H_0 = b - \bar{a}_1 \quad (1.37);$ $h_t = \bar{a}_1 - \bar{a} \quad (1.38);$ $q = \frac{\Sigma h - et}{t} \quad (1.39);$ $\mu \text{ по } (1.35), (1.36);$ $m'_0 \text{ по } (1.33)$	

нумерацию: первая цифра в скобках означает номер схемы, вторая—

Буквенные обозначения к схемам 1—6:

- B — расстояние между осями дренажных линий, м;
 $k_{гр}$ — коэффициент фильтрации грунта, м/сут;
 $k_{ф}$ — то же, фильтра, м/сут;
 m — мощность расчетного слоя грунта, м;
 $T = k_{гр}m$ — проводимость пласта, м²/сут;
 μ — коэффициент водоотдачи (недостатка насыщения);
 H_p — расчетный напор (превышение УГВ между дренами над осью дрен), м;
 τ — время стабилизации, сут.;
 t — длительность расчетного периода, сут.;
 q — интенсивность инфильтрационного питания (средний за расчетный период приток к дренам), м/сут;
 q_0 — расчетный модуль дренажного стока, л/с·га = $\frac{1}{116}$ м/сут;
 $L_{нд}$ — общие фильтрационные сопротивления (по степени и характеру вскрытия пласта), м;
 C_l — фильтрационные сопротивления дренажных труб без фильтров;
 Φ_l — фильтрационные сопротивления по характеру вскрытия пласта;
 $\Psi_{ф}$ — приращение фильтрационных сопротивлений, обусловленное влиянием фильтра;
 D — наружный диаметр дренажной трубы, м;
 D_0 — внутренний диаметр, м;
 δ — толщина фильтра (стенка трубофильтра), м;
 τ_1 — ширина стыкового зазора между дренажными трубами, м;
 τ_0 — ширина продольно-щелевой перфорации, м;
 S_1 — длина керамических труб, м;
 S — шаг перфорации, м;
 n — число рядов перфорации;
 $N = \frac{n}{S}$ — количество отверстий на 1 пог. м трубы;
 d_0 — диаметр перфорационных отверстий, см;
 l — длина щелей, м;
 l_1 — ширина полосы фильтра, укладываемого вокруг стыков керамических труб, м;
 a — норма осушения к концу расчетного периода, м;
 a_1 — глубина залегания УГВ к началу расчетного периода, м;
 a_0 — мощность пахотного слоя почвы, м;
 b — глубина дрен, расстояние от поверхности земли до оси дренажной трубы, м;
 $H_{сн}$ — запас воды в снеге 10%-ной обеспеченности к началу таяния, м;
 $H_{в}$ — глубина слоя затопления поверхности почвы, м;
 σ — коэффициент стока талых вод;
 e — интенсивность испарения, м/сут;
 p — интенсивность атмосферных осадков, м/сут;
 Σh — сумма осадков за расчетный период, м;
 i — уклон поверхности земли;
 w — количество воды, подлежащей отведению дренажем, м;
 α — коэффициент, учитывающий схему укладки фильтра.

четного периода на глубине a_1 ; б) полное насыщение почвы водой и затопление поверхности слоем H_v .

Проверочные фильтрационные расчеты на летне-осенний период ведутся по следующим условиям: а) обеспечение нужной нормы осушения в этот период при выпадении интенсивных дождей; б) обеспечение необходимой скорости освобождения пахотного слоя от гравитационной воды ($t=1-3$ сут.). Для тяжелых глинистых почв последнее условие является основным и для весеннего периода, при этом $t=10-15$ сут., $a_0=0,2-0,3$ м.

Как правило, проверочные расчеты на интенсивные дожди в летний период не делаются ввиду того, что почва в это время обладает большой аккумулярующей емкостью, велико испарение, подъем УГВ незначительный. Что касается осеннего периода, то в расчетах УГВ к началу затяжных дождей принимается на глубине заложения дрен, почва не обладает аккумулярующей емкостью, норма осушения $\bar{a}=0,6-0,8$ м, испарение $e=0-0,5$ мм/сут.

Расчетные периоды с указанием зависимостей для определения исходных параметров приведены на схеме 1.

При использовании метода неустановившейся фильтрации возможны фильтрационные расчеты дренажа по допустимому подъему УГВ. Если к началу снеготаяния УГВ расположен на большой глубине, то междренные расстояния можно определить из условия, чтобы к началу полевых работ он поднялся не выше нормы осушения в весенний период. В летне-осенний период таким требованием является подъем УГВ от интенсивных дождей не выше нормы в этот период или недопущение затопления корнеобитаемого слоя почвы [50].

Расчетные фильтрационные схемы. Фильтрационная обстановка мелиорируемого массива (объекта) должна быть представлена расчетной фильтрационной схемой, которая является основной для выбора метода расчетов дренажа. Схема составляется для всего массива или выделенных характерных участков. Для построения фильтрационной схемы используются данные по режиму, строению и структуре потоков, условиям питания, гидравлическим характеристикам водоносных горизонтов, их связи с атмосферой, геометрическому очертанию областей фильтрации и др.

Мелиоративные мероприятия осуществляются на площадях с безнапорными и напорными грунтовыми вода-

ми. Основными видами питания грунтовых вод являются инфильтрационное, величина которого устанавливается на основе воднобалансовых расчетов, глубинное из напорных горизонтов и приток со стороны.

При значительных размерах мелиорируемого объекта имеет место безнапорная область фильтрации с поверхностным инфильтрационным питанием при отсутствии (редко наличии) глубинного притока. Для участков, примыкающих к водохранилищам, озерам, крупным рекам и каналам, существенную роль играет боковой приток. В тальвегах узких заболоченных пойм, как правило, имеет место значительное напорное питание с нижних водоносных горизонтов.

Верхней границей фильтрационной схемы является поверхность почвы, нижней — водоупор или кровля обильного напорного горизонта. Водоносная толща, как правило, неоднородна и приводится к двух- или трехслойной. Наиболее распространены двухслойные толщи. Внутренней их границей является плоскость раздела двух слоев с существенно разной проницаемостью. Если водопроницаемость верхнего слоя не менее чем в 300 раз больше нижнего, то последний принимается за водоупор.

Принципы схематизации природных условий и построения расчетных фильтрационных схем детально разработаны применительно к гидрогеологическим расчетам [6, 7, 30], которыми и следует руководствоваться при составлении расчетных фильтрационных схем мелиоративного дренажа.

Основные расчетные зависимости. В общем случае приток воды на единицу длины

$$Q = \frac{2\pi kH}{\Phi_0 + \Phi_1},$$
$$\Phi_1 = \psi_\phi + C_1,$$

где Φ_0 — фильтрационные сопротивления идеальной дрены (полости в грунте), определяемые граничными условиями фильтрации (сопротивлениями на несовершенство дренажа по степени вскрытия пласта).

Фильтрационные сопротивления на несовершенство дренажа по характеру вскрытия пласта зависят от конструкций труб, параметров фильтров и схемы их укладки и в общем случае выражаются зависимостью

$$\Phi_i = \alpha \psi_\Phi + C_i \left(1 - \alpha + \frac{k_{rp}}{k_\Phi} \alpha \right).$$

Приращение фильтрационных сопротивлений, обусловленное наличием фильтра,

$$\psi_\Phi = \left(\frac{k_{rp}}{k_\Phi} - 1 \right) \ln \frac{D + 2\delta}{D}.$$

Расстояния между дренажными линиями определяются по зависимостям [2, 36, 37, 55]:

при установившейся фильтрации

$$B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{H_p T}{2q}} - L_{нд} \right);$$

при неустановившейся

$$B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{\tau T}{4\mu}} - L_{нд} \right),$$

где $L_{нд} = L_{нд}^0 + \bar{\Phi}_i$;

$L_{нд}^0$ — фильтрационные сопротивления на несовершенство дренажа по степени вскрытия пласта.

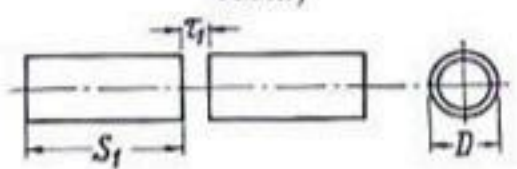
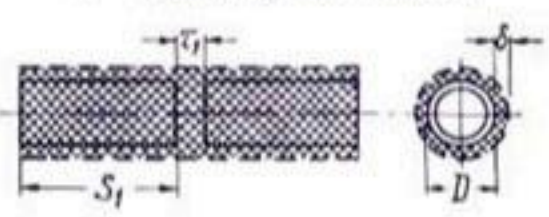
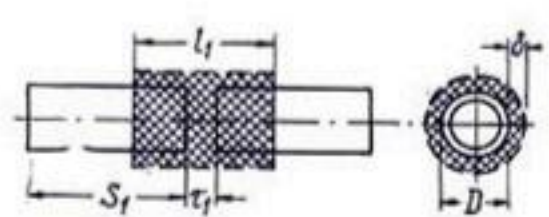
Величины $L_{нд}^0$ определяются по приводимым в работах [2, 36, 37, 55] формулам в зависимости от принятой фильтрационной схемы, начальных и граничных условий. Формулы для вычисления фильтрационных сопротивлений на несовершенство дренажа по характеру вскрытия пласта Φ_i в зависимости от конструкций труб, параметров фильтров и способа их укладки приведены на схеме 2 [35, 36, 56], а общие фильтрационные сопротивления $L_{нд}$ — на схемах 3—6.

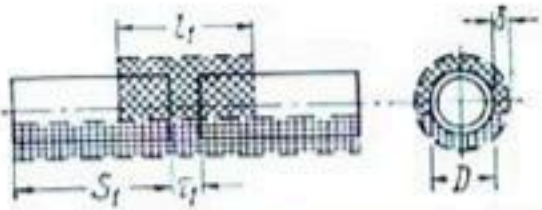
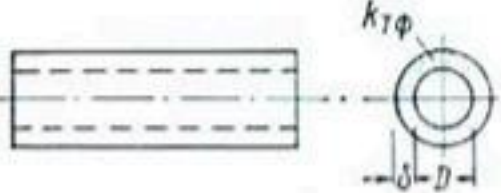
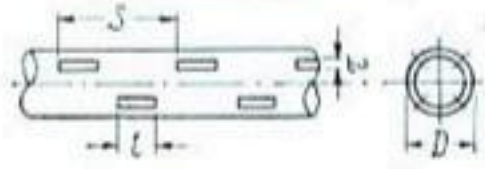
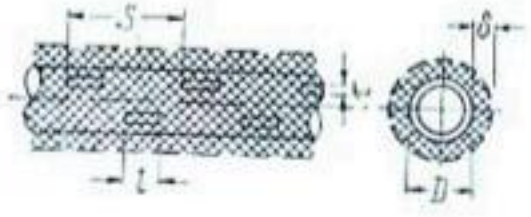
Методика проведения расчетов. Фильтрационные расчеты горизонтального трубчатого дренажа сводятся к установлению междренних расстояний и модулей стока при известном геологическом строении толщи, заданной динамике УГВ (норме осушения), известных конструкциях труб, схемах укладки и параметрах фильтров и принятой (на основе технико-экономических расчетов) глубине заложения дрен.

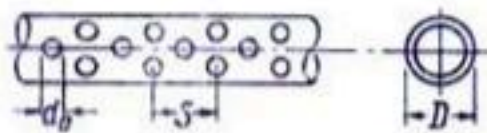
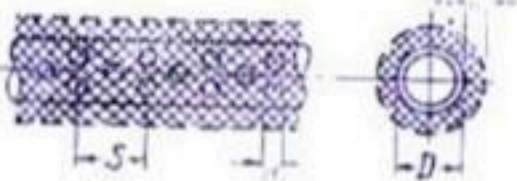
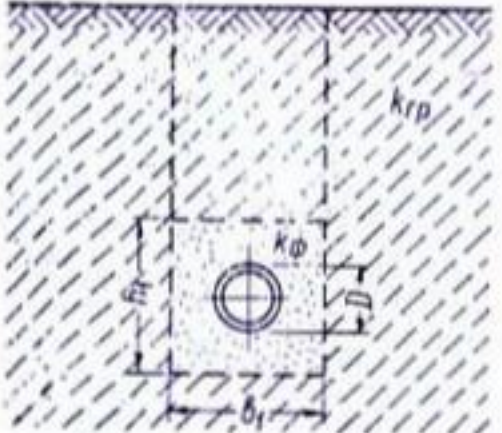
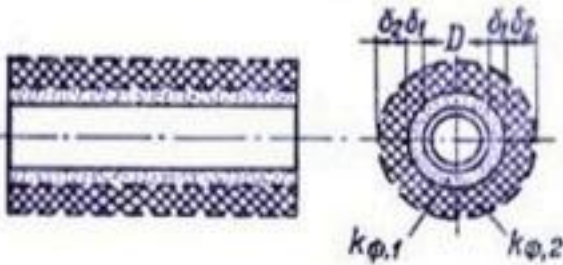
Методика и последовательность фильтрационных расчетов дренажа состоят в следующем:

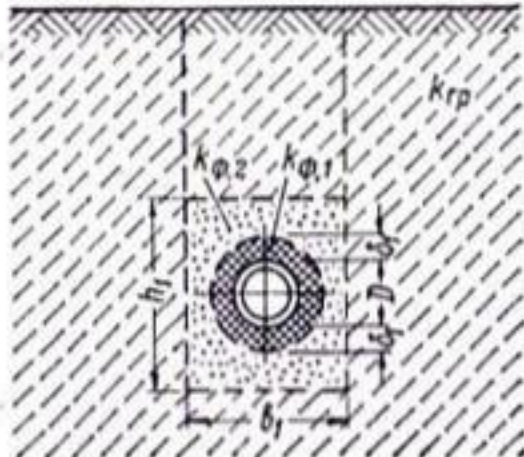
1. Составляется расчетная фильтрационная схема.
2. Принимаются расчетные периоды и сроки и вычис-

Фильтрационные сопротивления по характеру вскрытия пласта
[32, 35, 36, 56]

Варианты схем укладки труб и фильтров	Расчетные зависимости
I. Керамические трубы α — без фильтра и с внутренними соединительными втулками (муфтами) 	$\Phi_l = \alpha \Psi_\phi + C_r \left(1 - \alpha + \frac{k_{rp}}{k_\phi} \alpha \right) \quad (2.1)$ $\alpha = 0$ $\Phi_l = \frac{1}{\pi} \ln \frac{4S_1}{D} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\tau_1}{S_1}} \quad (2.2).$ При $\tau_1 < 0,01$; $0,3 < S_1 < 1,2$ м $\Phi_l = 1,68 \lg \frac{4S_1}{D} \lg \frac{2S_1}{\pi \tau_1} \quad (2.3),$ τ_1 — ширина зазора между трубами или ширина фильтрующей части внутренних втулок (муфт)
α — фильтр сплошной 	$\alpha = 1$ $\Phi_l = \left(\frac{k_{rp}}{k_\phi} - 1 \right) \ln \frac{D + 2\delta}{D} + \frac{k_{rp}}{\pi k_\phi} \ln \frac{4S_1}{D} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\tau_1}{S_1}} \quad (2.4).$ При $\tau_1 < 0,01$; $0,3 < S_1 < 1,2$ м $\Phi_l = 2,3 \left(\frac{k_{rp}}{k_\phi} - 1 \right) \lg \frac{D + 2\delta}{D} + 1,68 \frac{k_{rp}}{k_\phi} \lg \frac{4S_1}{D} \lg \frac{2S_1}{\pi \tau_1} \quad (2.5)$
α — фильтр прерывистый или наружные фильтрующие муфты 	$\Phi_l = \alpha \Psi_\phi + C_r \left(1 - \alpha + \frac{k_{rp}}{k_\phi} \alpha \right) \quad (2.6);$ $C_r = \frac{1}{\pi} \ln \frac{4S_1}{D} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\tau_1}{S_1}} \quad (2.7)$ или $C_r = 1,68 \lg \frac{4S_1}{D} \lg \frac{2S_1}{\pi \tau_1} \quad (2.8);$ $\Psi_\phi = 2,3 \left(\frac{k_{rp}}{k_\phi} - 1 \right) \lg \frac{D + 2\delta}{D} \quad (2.9);$ $\alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{S_1 - l_f}{S_1} \right)^3} \quad (2.10)$

Варианты схем укладки труб и фильтров	Расчетные зависимости
г — фильтр комбинированный 	Φ_i по (2.6); C_r по (2.7) или (2.8); Ψ_ϕ по (2.9); $\alpha = 0,95-0,98$ при $l_1 \geq 0,3S_1$
II. Трубофильтры 	$\Phi_i = 2,3 \left(\frac{k_{rp}}{k_{тф}} - 1 \right) \lg \frac{D + 2\delta}{D} \quad (2.11)$
III. Пластмассовые, асбоцементные и другие трубы	$\Phi_i = 2,3 \left(\frac{k_{rp}}{k_\phi} - 1 \right) \lg \frac{D + 2\delta}{D} + \frac{k_{rp}}{k_\phi} C_i \quad (2.12)$
а — с продольно-щелевой перфорацией без фильтра 	$\Phi_i = \frac{2S}{nl} \ln \frac{1}{\sin \frac{nl}{2S} \theta} \quad (2.13);$ $\theta = \arcsin \frac{\tau_0}{D} \quad (2.14)$ При $\tau_0 \approx 5$; $S \leq 150$; $l \leq 50$; $D \geq 100$ мм $\Phi_i = 4,6 \frac{S}{nl} \lg \frac{2SD}{nl\tau_0} \quad (2.15)$
б — же, с фильтром 	$\Phi_i = 2,3 \left(\frac{k_{rp}}{k_\phi} - 1 \right) \lg \frac{D + 2\delta}{D} + 2 \frac{k_{rp}}{k_\phi} \cdot \frac{S}{nl} \ln \frac{1}{\sin \frac{nl}{2S} \theta} \quad (2.16);$ $\Phi_i = 2,3 \left(\frac{k_{rp}}{k_\phi} - 1 \right) \lg \frac{D + 2\delta}{D} + 4,6 \frac{k_{rp}}{k_\phi} \cdot \frac{S}{nl} \lg \frac{2SD}{nl\tau_0} \quad (2.17);$ θ по (2.14)

Варианты схем укладки труб и фильтров	Расчетные зависимости
в — с круглой перфорацией без фильтра 	$\Phi_i^0 = \frac{49,4 (1,012 d_0^{-1,82} + 1)}{\left(\frac{n}{S}\right)^{(0,0066 d_0^{4,5} + 1,033)}} \quad (2.18);$ d_0 в см; S в м
г — то же, с фильтром 	$\Phi_i = 2,3 \left(\frac{k_{rp}}{k_{\phi}} - 1 \right) \lg \frac{D+2\delta}{D} + \frac{k_{rp}}{k_{\phi}} \Phi_i^0 \quad (2.19);$ Φ_i^0 по (2.18); d_0 в см, S в м
IV. Все конструкции труб 	Φ_i по (2.4), (2.5), (2.16), (2.17), (2.19) при $\delta = \frac{0,53 (b_1 + h_1) - D}{2} \quad (2.20)$
V. Фильтр двухслойный а — трубы любые 	$\Phi_{i,2} = 2,3 \left[\lg \frac{D}{D+2(\delta_1+\delta_2)} + \frac{k_{rp}}{k_{\phi,2}} \lg \frac{D+2(\delta_1+\delta_2)}{D+2\delta_1} + \frac{k_{rp}}{k_{\phi,1}} \lg \frac{D+2\delta_1}{D} \right] + \frac{k_{rp}}{k_{\phi,1}} C_i \quad (2.21);$ $C_i = \Phi_i$ по (2.2), (2.3), (2.13), (2.15), (2.18); для трубофильтра: $D = D_0$; $\delta_1 = \delta$ (схема II); $C_i = 0$; $k_{\phi,1} = k_{тф}$

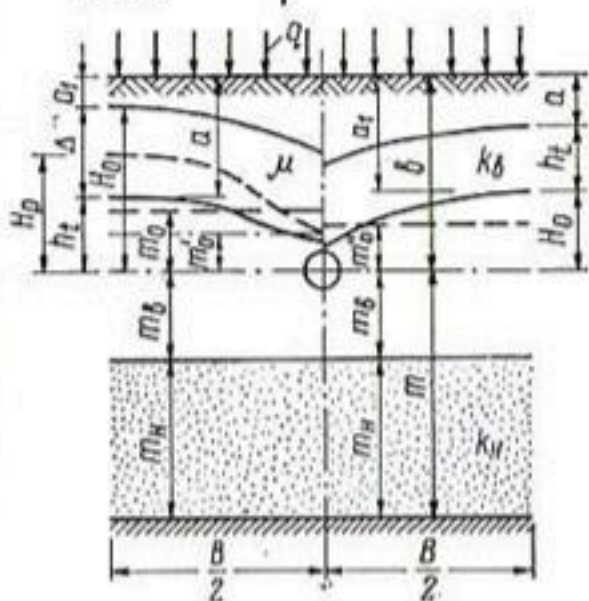
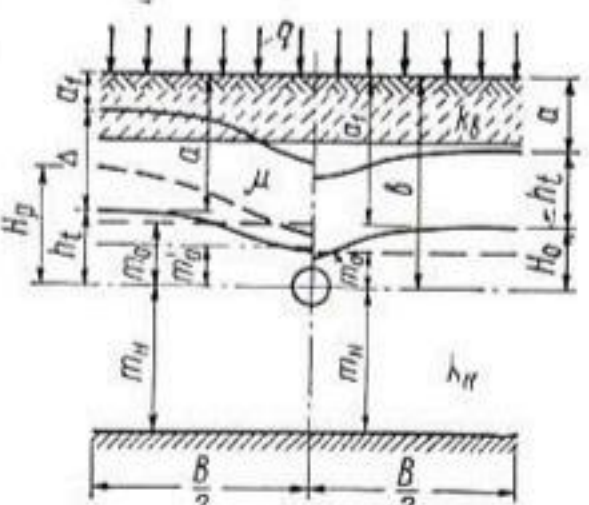
Варианты схем укладки труб и фильтров	Расчетные зависимости
б — трубы с фильтром и песчано-гравийной обсыпкой 	$\Phi_{l,2} \text{ по (2.21) при } \delta_2 = \frac{0,53(b_1+h_1)-(D+2\delta_1)}{2} \quad (2.22);$ $C_l = \Phi_l \text{ по (2.2), (2.3), (2.13), (2.15), (2.18);}$ для трубофильтра с обсыпкой $D = D_0$; $\delta_1 = \delta$ (схема 2); $C_l = 0$; $k_{ф,1} = k_{тф}$

ляются расчетные напоры и величины водного питания по формулам, приведенным на схеме 1.

- Исходя из известных конструкций труб, параметров фильтров и принятых схем их укладки вычисляются фильтрационные сопротивления дрен по характеру вскрытия пласта по формулам схемы 2.
- Расстояния между дренажными линиями вычисляются по формулам, приведенным на схемах 3 (двухслойная толща), 4 (однородный грунт), 5 (трехслойная толща) и схеме 6 (напорное питание). На схеме 3 даны зависимости для расчетов методами установившейся фильтрации при заданном понижении УГВ и неустановившейся фильтрации по понижению и допустимому подъему УГВ. В целях сокращения объема на схемах 4 и 5 не приведены формулы для расчетов по допустимому подъему УГВ. Здесь можно воспользоваться формулами схемы 3, подставляя в них соответствующие значения общих фильтрационных сопротивлений $L_{пл}$ из схем 4 и 5. Все необходимые для расчетов параметры приведены на схемах.

Поправочный коэффициент β_v , входящий в формулы схемы 3, определяется по графикам $\beta = \varphi(\bar{r}, \bar{m}, \lambda)$, составленным А. Я. Олейником [37] (рис. 22), при следующих параметрах

Расстояния между дренажными линиями

Фильтрационная схема	Расчетные Установившаяся фильтрация по заданному
<i>a</i> — понижение УГВ <i>б</i> — подъем УГВ 	Схема <i>a</i> $B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{H_p T}{2q}} - L_{нд} \right) \quad (3.1);$ $T = k_n (m_n + m_0) + k_n m_n \quad (3.2);$ $H_p \text{ по схеме 1; } m_0 = 0,5 H_p \quad (3.3);$ $L_{нд} = \beta_n \frac{k_n}{k_b} \left[0,73 m \lg \frac{2m}{\pi D} + \right. \\ \left. + 1,46 m_0 \lg \frac{4m_0}{\pi D} + 0,318 (m + \right. \\ \left. + 2m_0) \Phi_l \right] + \frac{k_n - k_n}{k_n} \left[0,73 m_b \lg \times \right. \\ \left. \times \frac{2m_b}{\pi D} + 1,46 m_0 \lg \frac{4m_0}{\pi D} + 0,318 \right. \\ \left. (m_b + 2m_0) \Phi_l \right] \quad (3.4);$ β_n по рис. 22; $\bar{r}$, λ, $\bar{m}$ по (124); Φ_l по схеме 2; q по схеме 1
<i>в</i> — понижение УГВ <i>г</i> — подъем УГВ 	Схема <i>в</i> B по (3.1); m_0 по (3.3); $T = k_n (m_n + m_0) \quad (3.20);$ $L_{нд} = 0,73 m_n \lg \frac{2m_n}{\pi D} +$ $+ 1,46 m_0 \lg \frac{4m_0}{\pi D} + 0,318 (m_n +$ $+ 2m_0) \Phi_l \quad (3.21);$ Φ_l по схеме 2; q по схеме 1; H_p по схеме 1

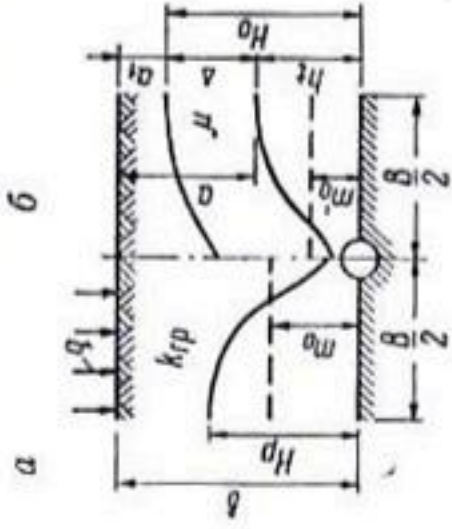
Примечание. Для схем *a* и *б* колебание УГВ в верхнем

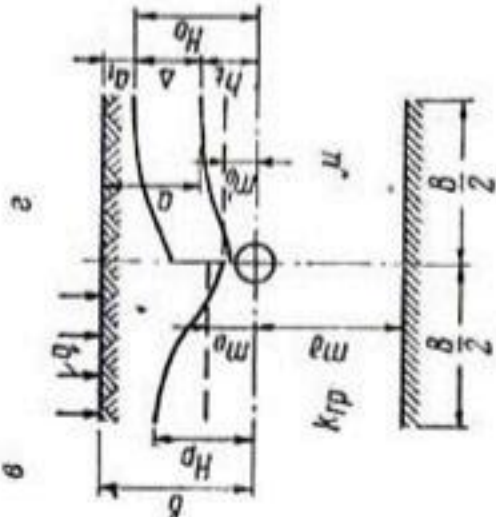
в двухслойных грунтах [2, 35, 36, 37, 55]

зависимости	
Неустановившаяся фильтрация	
понижению УГВ	по допустимому подъему УГВ
Схема а $B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{\tau T}{4\mu}} - L_{нд} \right) \quad (3.5);$ $T = k_v (m_n + m'_0) + k_n m_n \quad (3.6);$ $h_t = b - a \quad (3.7); H_0 = b - a_1 \quad (3.8);$ $h_t = H_0 - \Delta \quad (3.9); \Delta = a - a_1 \quad (3.10);$ $\eta = \frac{h_t}{H_0} \quad (3.11); \tau = \frac{t}{\bar{t}} \quad (3.12);$ $\bar{t} = f(\eta, \eta_m), \text{ рис. 27};$ $\eta_m = \frac{T}{h_t k_v} \quad (3.13);$ $L_{нд} \text{ по (3.4) при } m_0 = m'_0;$ $\Phi_l \text{ по схеме 2, } m'_0 = \frac{h_t}{2} \quad (3.14);$ $\mu \text{ по (1.19), (1.20), (1.23), (1.24)}$	Схема б $B \text{ по (3.5);}$ $T = k_v (m_n + m''_0) + k_n m_n \quad (3.15);$ $m''_0 = 0,5 H_0 \quad (3.16); H_0 = b - a_1 \quad (3.17);$ $h_t = a_1 - a \quad (3.18);$ $\gamma = \frac{\mu h_t}{q t} \quad (3.19); \bar{t} = f(\gamma), \text{ рис. 25};$ $\tau \text{ по (3.12);}$ $L_{нд} \text{ по (3.4) при } m_0 = m''_0;$ $q \text{ по (1.34), (1.39);}$ $\mu \text{ по (1.35), (1.39);}$ $\Phi_l \text{ по схеме 2}$
Схема в $B \text{ по (3.5);}$ $T = k_n (m_n + m'_0) \quad (3.22);$ $m'_0 \text{ по (3.14);}$ $L_{нд} \text{ по (3.21) при } m_0 = m'_0;$ $h_t \text{ по (3.7); } \eta \text{ по (3.11);}$ $H_0 \text{ по (3.8); } \tau \text{ по (3.12);}$ $\bar{t} \text{ по рис. 27; } \eta_m \text{ по (3.13);}$ $\Delta \text{ по (3.10); } \Phi_l \text{ по схеме 2;}$ $\mu \text{ по (1.19 — 1.24)}$	Схема г $B \text{ по (3.5);}$ $T = k_n (m_n + m''_0) \quad (3.23);$ $m''_0 \text{ по (3.16); } \gamma \text{ по (3.19);}$ $\bar{t} \text{ по рис. 25; } \tau \text{ по (3.12);}$ $H_0 \text{ по (3.17); } h_t \text{ по (3.18);}$ $L_{нд} \text{ по (3.21) при } m_0 = m''_0;$ $\Phi_l \text{ по схеме 2;}$ $q \text{ по (1.34); } \mu \text{ по (1.35)}$

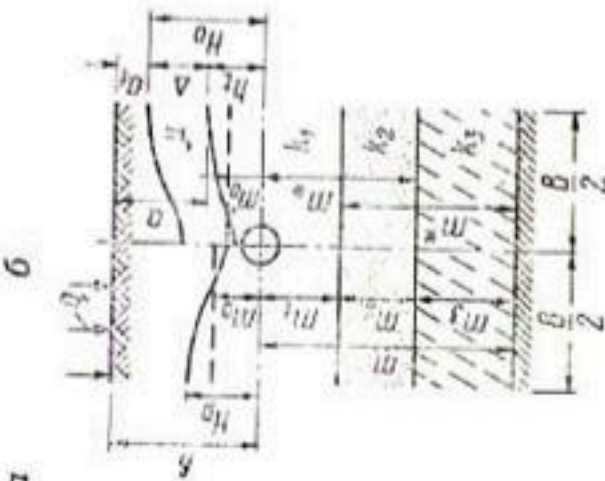
слое; в и г — преимущественно в нижнем.

Расстояния между дренажными линиями в однородном грунте [2, 36, 37, 55] (по заданному понижению УГВ)

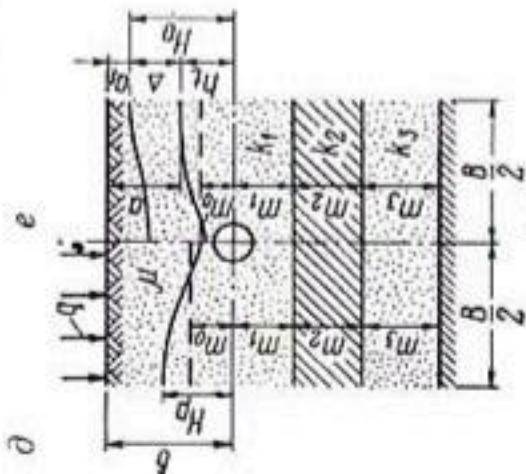
Фильтрационная схема	Расчетные зависимости	
	Установившееся движение	Неустановившееся движение
а  б	Схема а $B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{H_p T}{2q}} - L_{нд} \right) \quad (4.1);$ $T = k_{rp} m_0 \quad (4.2); \quad m_0 = 0,5 H_p \quad (4.3);$ $L_{нд} = 1,46 m_0 \lg \frac{4 m_0}{\pi D} + 0,636 m_0 \Phi_I \quad (4.4);$ H_p и q по схеме 1; Φ_I по схеме 2	Схема б $B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{\tau T}{4\mu}} - L_{нд} \right) \quad (4.5);$ $T = k_{rp} m_0' \quad (4.6); \quad m_0' = 0,5 h_t \quad (4.7);$ $h_t = b - a \quad (4.8); \quad H_0 = b - a_1 \quad (4.9);$ $\eta = \frac{h_t}{H_0} \quad (4.10); \quad \tau = \frac{t}{t} \quad (4.11);$ $\bar{t} = f(\eta, \eta_m) \text{ по рис. 27; } \eta_m =$ $= \frac{T}{h_t \cdot k_{rp}} \quad (4.12);$ $L_{нд}$ по (4.4) при $m_0 = m_0'$; Φ_I по схеме 2; μ по схеме 1

Фильтрационная схема	Расчетные зависимости	
	Установившееся движение	Неустановившееся движение
	Схема в В по (4.1); $T = k_{гр} (m_d + m_0)$ (4.13); m_0 по (4.3). При $B > 2m_d$: $L_{нд} = 0,73m_d \lg \frac{2m_d}{\pi D} + 1,46m_0 \times$ $\times \lg \frac{4m_0}{\pi D} + 0,316 (m_d + 2m_0)\Phi_i \text{ (4.14);}$ При $B < 2m_d$: $B = \frac{2\lambda k_{гр} H_p}{q \left(\ln \frac{2B}{\pi D} + \Phi_i \right)} \text{ (4.15);}$ H_p и q по схеме 1; Φ_i по схеме 2	Схема з В по (4.5); $T = k_{гр} (m_d + m_0')$ (4.16); m_0' по (4.7); h_t по (4.8); H_0 по (4.9); η по (4.10); τ по (4.11); $\bar{t}$ по рис 27; $L_{нд}$ по (4.14) при $m_0 = m_0'$; Φ_i по схеме 2; μ по схеме 1

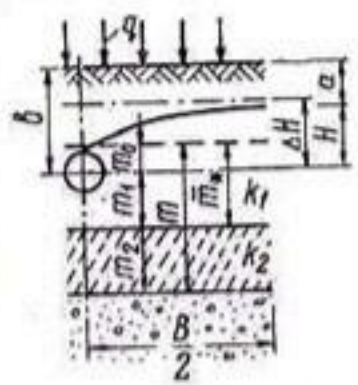
Расстояния между дренажными линиями в трехслойном грунте [2, 36, 37, 55] (по заданному понижению УГВ)

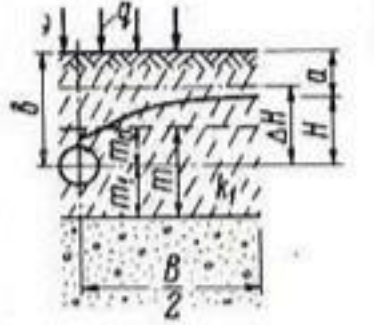
Фильтрационная схема	Расчетные зависимости	
	Установившееся движение	Неустановившееся движение
а  б $k_1 \geq k_2 \geq k_3$ $k_1 \leq k_2 \leq k_3$ $k_1, k_3 \leq k_2$	Схема а $B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{H_p T}{2q}} - L_{нд} \right) \quad (5.1);$ $T = k_1 (m_1 + m_0) + k_2 m_2 + k_3 m_3 \quad (5.2);$ $L_{нд} = \beta_1 \beta_2 m \frac{k_3}{k_2} (f + f_0) +$ $+ \beta_3 m_* \frac{k_2 - k_3}{k_1} (f_* + f_{*,0}) +$ $+ m_1 \frac{k_1 - k_2}{k_1} (f_1 + f_{1,0}) \quad (5.3);$ $m_1 = m, m_*, m_i; m = m_1 + m_2 + m_3 \quad (5.4);$ $m_* = m_1 + m_2 \quad (5.5); f_1 = 0.73 \lg \frac{2m_1}{\pi D} \quad (5.6);$ $f_{1,0} = 1.46 \frac{m_0}{m_i} \lg \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2}{\pi} \left(0.5 + \right.$ $\left. + \frac{m_0}{m_i} \right) \Phi_1 \quad (5.7);$ H_p и q по схеме 1; $m_0 = 0.5H_p$ (5.8); Φ_1 по схеме 2, β_1 по рис. 22 и (125) — (127)	Схема б $B = 4 \left(\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{\tau T}{4\mu}} - L_{нд} \right) \quad (5.9);$ T по (5.2) при $m_0 = m'_0; m'_0 = \frac{h_t}{2}$ (5.10); $h_t = b - a \quad (5.11); H_0 = b - a, \quad (5.12);$ $\eta = \frac{h_t}{H_0} \quad (5.13); \tau = \frac{t}{t} \quad (5.14);$ $\bar{t}$ по рис. 27; $\bar{t} = f(\eta, \eta_m);$ $\eta_m = \frac{T}{h_t k_1} \quad (5.15);$ $L_{нд}$ по (5.3); m по (5.4); m_* по (5.5); f_1 по (5.6); $f_{1,0}$ по (5.7) при $m_0 = m'_0;$ Φ_1 по схеме 2; μ по схеме 1

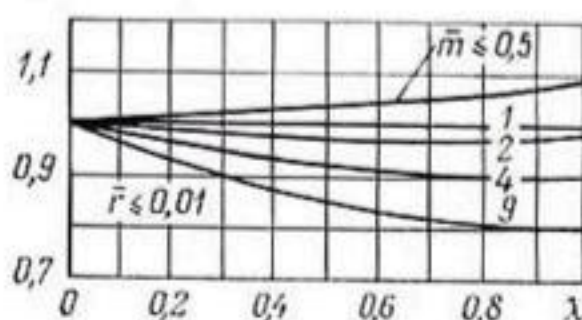
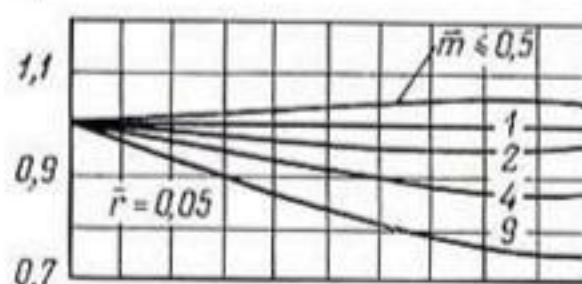
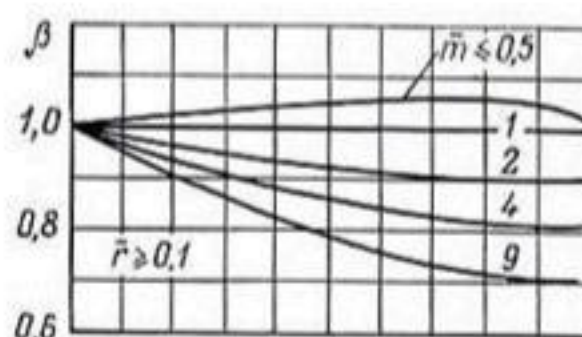
Фильтрационная схема	Расчетные зависимости	
	Установившееся движение	Неустановившееся движение
$k_3 \gg k_2 \left(\frac{k_2}{k_3} < 0.1 \right); \quad \frac{k_2}{k_1} \geq 0.01$	Схема в В по (5.1); Т по (5.2); $T_3 = k_3 m_3$ (5.16); $L_{на} = m_1 (f_1 + f_{1,0}) + \frac{T_3}{k_1} \left[\alpha_1 \frac{k_1}{k_2} (\bar{f}_* + f_{*,0}) + \frac{k_2 - k_1}{k_2} (\bar{f}_1 + f_{1,0}) \right] \quad (5.17);$ $\bar{f}_1 = 0,73 \lg \frac{8m_1}{\pi D} \quad (5.18); \quad m_1 = m_*, \quad m_1;$ f_1 по (5.6); $f_{1,0}$ по (5.7); α_1 по рис. 23 и (128); H_p и q по схеме 1; m_0 по (5.8); Φ_1 по схеме 2	Схема г В по (5.9); Т по (5.2) при $m_0 = m_0'$ по (5.10); h_1 по (5.11); H_0 по (5.12); η по (5.13); τ по (5.14); $\bar{f}$ по рис. 27; η_m по (5.15); $L_{на}$ по (5.17); m_* по (5.5); $\bar{f}_1$ по (5.18); $\bar{f}_1$ по (5.6); $f_{1,0}$ по (5.7); α_1 по рис. 23 и (128); H_p и q по схеме 1; Φ_1 по схеме 2

Фильтрационная схема	Расчетные зависимости	
	Установившееся движение	Неустановившееся движение
 $k_3 \gg k_2, \frac{k_2}{k_1} \leq 0,01$	Схема <i>д</i> В по (5.1); Т по (5.2); T_3 по (5.16); $L_{нд} = \xi \left[\frac{T}{k_1} (f_1 + f_{1,0}) + \frac{0,5}{C} \cdot \frac{T_3}{T_1} \right] \quad (5.19);$ $T_1 = k_1 (m_1 + m_0)$ (5.20); $T = T_1 + T_3$ (5.21); $C = \sqrt{\frac{k_2 T}{m_2 T_1 T_3}} \quad (5.22);$ $\xi = f(\bar{B}); \quad \bar{B} = cB \quad (5.23)$ ξ по рис. 24 и (129); f_1 по (5.6); m_0 по (5.8); $f_{1,0}$ по (5.7); H_p и q по схеме 1; Φ_1 по схеме 2	Схема <i>е</i> В по (5.9); Т по (5.2) при $m_0 = m'_0$ по (5.10); h_1 по (5.11); H_0 по (5.12); η по (5.13); τ по (5.14); $\bar{t}$ по рис. 27; η_m по (5.15); $L_{нд}$ по (5.19); T_3 по (5.16); T_1 по (5.20); Т по (5.21); С по (5.22); ξ по рис. 24; f_1 по (5.6); $f_{1,0}$ по (5.7); H_p и q по схеме 1; Φ_1 по схеме 2

Расстояния между дренами при инфильтрационном и напорном питании [2,36,37]

Фильтрационная схема	Расчетные зависимости
<i>a</i>  $\frac{k_2}{k_1} > 0,01$; B находится подбором по заданному H	$H = \frac{q}{k_1} m_0 + \frac{Q}{k_1} (\bar{\Phi}_A - U_A) \quad (6.1);$ $m = m_1 + m_2 + m_0 \quad (6.2);$ $Q = \frac{k_1 \left[\Delta H + \frac{q}{k_1} (m_1 - 0,5D) + \frac{q}{k_2} m_2 \right]}{\bar{\Phi}_A} \quad (6.3);$ $\bar{m}_* = m_1 + m_0 \quad (6.4);$ $\bar{\Phi}_A = a_1 \frac{k_1}{k_2} \left[0,73 \lg \frac{8m}{\pi D} + 1,46 \frac{m_0}{m} \times \right. \\ \times \lg \frac{4m_0}{\pi D} + 0,636 \left(0,5 + \frac{m_0}{m} \right) \Phi_1 \left. \right] + \\ + \frac{k_2 - k_1}{k_2} \left[0,73 \lg \frac{4\bar{m}_*}{\pi D} + 1,46 \frac{m_0}{\bar{m}_*} \times \right. \\ \times \lg \frac{4m_0}{\pi D} + 0,636 \left(0,5 + \frac{m_0}{\bar{m}_*} \right) \Phi_1 \left. \right] \quad (6.5);$ $U_A = \eta \frac{k_1}{k_2} u + \frac{k_2 - k_1}{k_2} u_1 \quad (6.6);$ $u = 1,27 \exp \left(-\frac{\pi B}{4m} \right) \cos \frac{\pi m_0}{2m} \quad (6.7);$ $u_1 = 1,27 \exp \left(-\frac{\pi B}{4\bar{m}_*} \right) \cos \frac{\pi m_0}{2\bar{m}_*} \quad (6.8);$ $a_1 = f(\bar{r}, \bar{m}, \lambda) \text{ по рис. 23; } \eta = f \left(\frac{B}{\bar{m}_*}, \right. \\ \left. \bar{k}, \frac{B}{m} \right) \text{ по рис. 26;}$ q по схеме 1; Φ_1 по схеме 2; $\bar{a} = b - H$ (6.19)
<i>б</i> — то же при $\frac{k_2}{k_1} \leq 0,01$	H по (6.1); Q по (6.3); m по (6.2); $\bar{m}_*$ по (6.4); $\bar{\Phi}_A = 0,73 \lg \frac{2\bar{m}_*}{\pi D} + 1,46 \frac{m_0}{\bar{m}_*} \lg \frac{4m_0}{\pi D} + \\ + \frac{2}{\pi} \left(0,5 + \frac{m_0}{\bar{m}_*} \right) \Phi_1 + 0,5C_0 \operatorname{cth} B_0 \quad (6.9);$ $U_A = \frac{0,5C_0}{\operatorname{sh} B_0} \quad (6.10); B_0 = 0,5BC_1 \quad (6.11);$ $C_1 = \sqrt{\frac{k_2}{k_1 \bar{m}_* m_2}} \quad (6.12); C_0 = \sqrt{\frac{k_1 m_2}{k_2 \bar{m}_*}} \quad (6.13);$ q по схеме 1; Φ_1 по схеме 2; $\bar{a}$ по (6.19)

Фильтрационная схема	Расчетные зависимости
	$H = \frac{q}{k_1} m_0 + \frac{Q}{k_1} (\bar{\Phi}_d - u) \quad (6.14);$ $Q = \frac{k_1 \left[\Delta H + \frac{q}{k_1} (m_1 + 0,5D) \right]}{\bar{\Phi}_d} \quad (6.15);$ $\bar{\Phi}_d = 0,73 \lg \frac{8m}{\pi D} + 1,46 \frac{m_0}{m} \lg \frac{4m_0}{\pi D} + 0,636 \left(0,5 + \frac{m_0}{m} \right) \Phi_i \quad (6.16);$ $u = 1,27 \exp \left(-\frac{\pi B}{4m} \right) \cos \frac{\pi m_0}{2m} \quad (6.17);$ $m = m_1 + m_0 \quad (6.18);$ $q \text{ по схеме 1; } \Phi_i \text{ по схеме 2; } \bar{a} \text{ по (6.19)}$



$$\lambda = \frac{k_{11} - k_{12}}{k_{11} + k_{12}}, \quad \bar{r} = \frac{r_d}{m_{11}},$$

$$\bar{m} = \frac{m_{11} + m_0}{m_{11}}. \quad (124)$$

Коэффициенты β_1 , β_2 , β_* для формул схемы 4 находятся по тем же графикам при $\bar{r} = \frac{r_d}{m_1}$ (r_d — наружный радиус дренажной трубы). При их определении принимается соответственно для β_1 , β_2 и β_* :

Рис. 22. Зависимость $\beta = f(\lambda, \bar{r}, \bar{m})$.

$$\lambda = \frac{k_3 - k_2}{k_3 + k_2}, \quad \bar{m} = \frac{m_3}{m^*}, \quad m^* = m_3 + m_2; \quad (125)$$

$$\lambda = \frac{k_2 - k_1}{k_2 + k_1}, \quad \bar{m} = \frac{m^*}{m_1 + m_0}; \quad (126)$$

$$\lambda = \frac{k_2 - k_1}{k_2 + k_1}, \quad \bar{m} = \frac{m_2}{m_1 + m_0}. \quad (127)$$

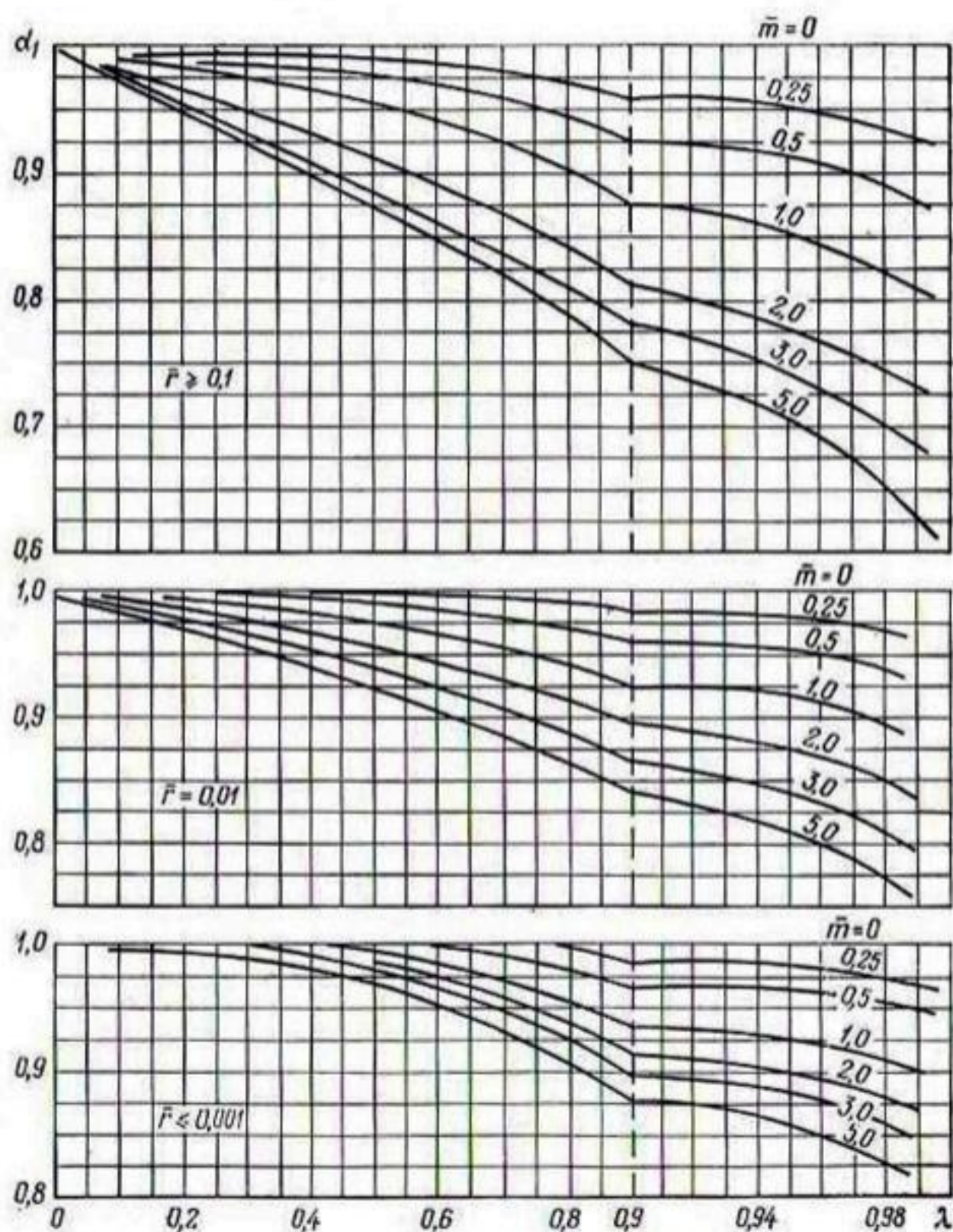


Рис. 23. Зависимость $\alpha_1 = f(\lambda, \bar{r}, \bar{m})$.

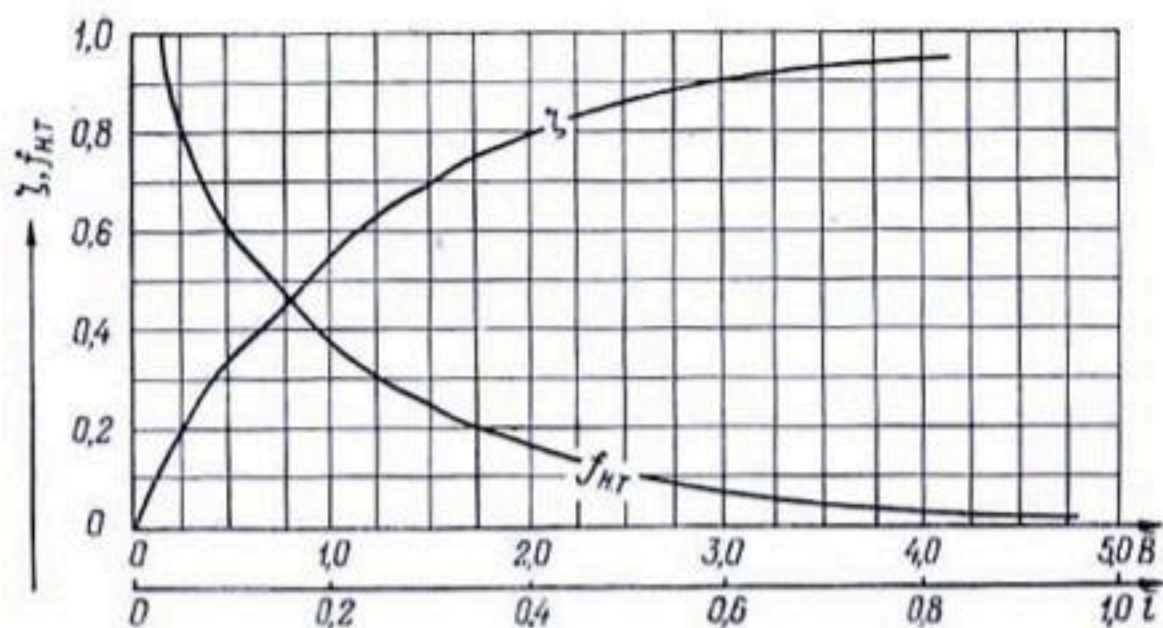


Рис. 24. Зависимость $\xi = f(\bar{B})$.

Поправочный коэффициент α_1 (схема 4) определяется по графикам А. Я. Олейника [37] $\alpha_1 = f(\bar{r}, \bar{m}, \lambda)$, приведенным на рис. 23. При этом.

$$\bar{r} = \frac{r_A}{m_1 + m_0}, \quad \lambda = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}, \quad \bar{m} = \frac{m_2}{m_1 + m_0}. \quad (128)$$

При $\lambda \leq 0$; $\beta = 1$ и $\alpha_1 = 1$.

Коэффициент $\xi = f(C, \bar{B})$ определяется по графику рис. 24 при

$$\bar{B} = 0,5CB. \quad (129)$$

Расчет ведут по методу последовательных приближений, задавшись начальной величиной B . При $\bar{B} > 3$, $\xi = 1$.

Относительное время стабилизации $\bar{t}$ (схема 4) определяется по графику $\bar{t} = f(\gamma)$ (рис. 25) при расчетах по до-

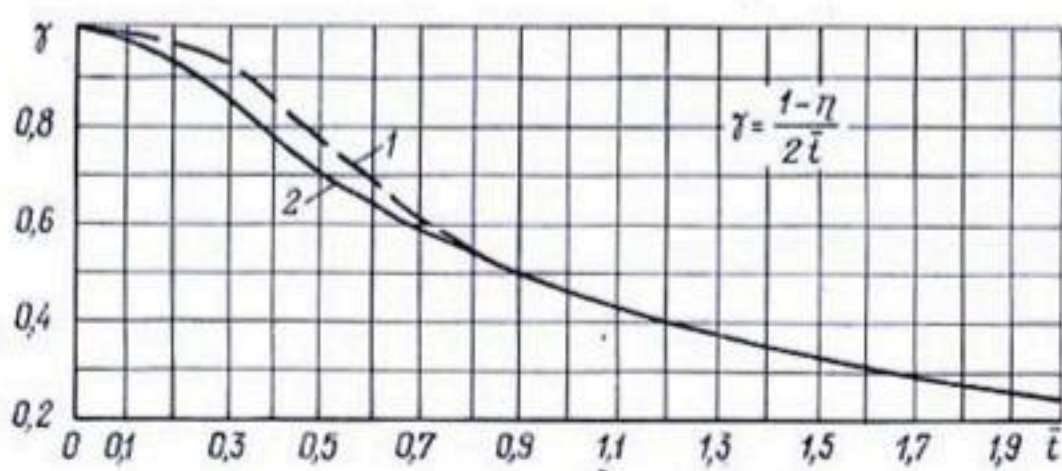


Рис. 25. Зависимость $\bar{t} = f(\gamma)$: 1 — $\eta = 1$; 2 — $\eta \geq 5$.

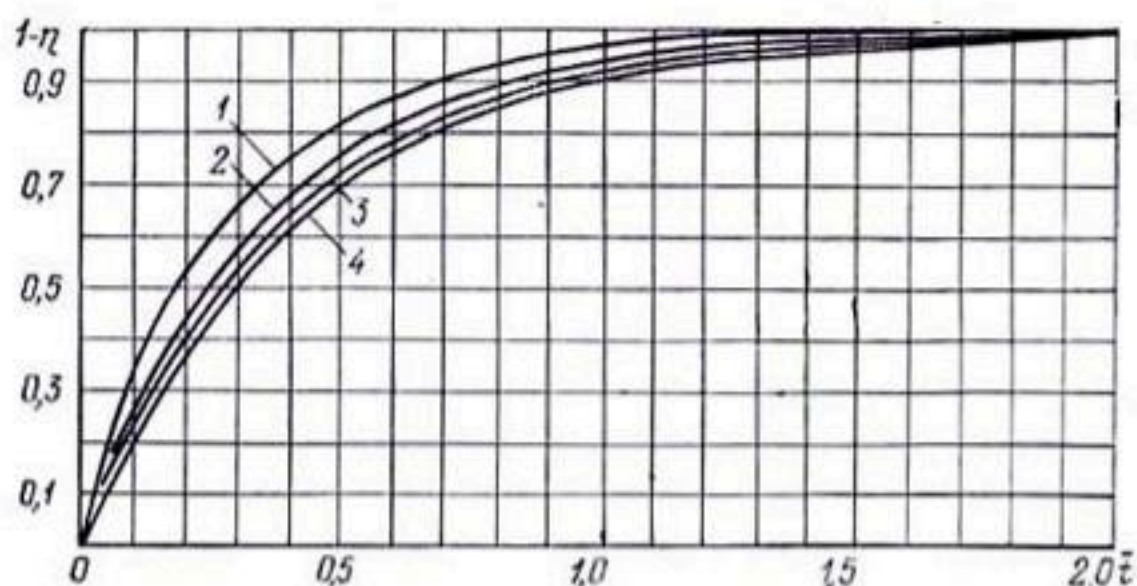


Рис. 26. Зависимость $\bar{t} = f(\eta, \eta_m)$: 1 — $\eta_m = 0.5$; 2 — $\eta_m = 1$; 3 — $\eta_m = 2$; 4 — $\eta_m = 3$ (по Аверьянову).

пустимому подъему УГВ и $\bar{t} = f(\eta, \eta_m)$ — по рис. 26 при расчетах по заданному понижению [37]. При этом

$$\gamma = \frac{\mu h_f}{q t}, \quad \eta = \frac{h_f}{H_0},$$

$$\eta_m = \frac{T}{h_f k_{\text{в}}}.$$

Поправочный коэффициент $\eta = f(\frac{B}{m_*}, \bar{k}, B_*)$, входящий в формулы схемы 6, находится по графику А. Я. Олейника [37] (рис. 27). При этом

$$\bar{k} = \lg \frac{k_1}{k_2}, \quad B_* = \frac{B}{m},$$

$$\bar{m}_* = m_1 + m_0, \quad m = m_1 + m_2 + m_0. \quad (130)$$

Расчет ведется методом последовательных приближений.

5. Модули дренажного стока определяются по формуле

$$q_0 = \frac{928 H_p T}{B (B + 8 L_{\text{нд}})} \text{ л/с} \cdot \text{га}. \quad (131)$$

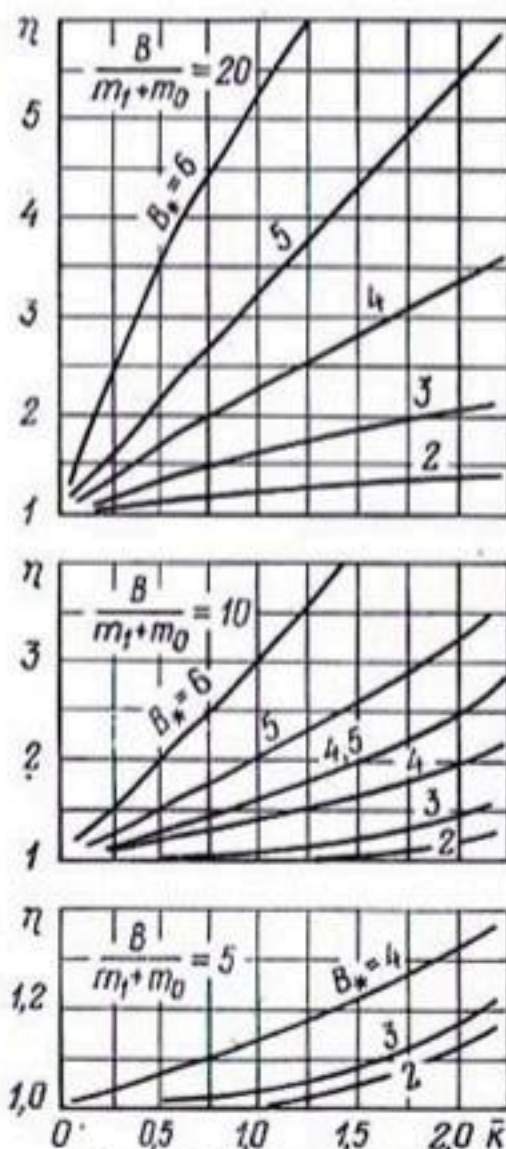


Рис. 27. Зависимость $\eta = f(\frac{B}{m_*}, \bar{k}, B_*)$.

Проводимость T определяется по принятой расчетной схеме и известным параметрам m_i и k_i по формуле

$$T = \sum m_i k_i.$$

Фильтрационные сопротивления $L_{ид}$ и расстояния между дренами находятся по формулам, приведенным на схемах 3—5.

При осушении торфяников расчеты следует вести на начальный период освоения (k_0 , b_0) и на период эксплуатации (k_b , b), учитывая, что водопроницаемость торфа вследствие его уплотнения уменьшается, а также уменьшается глубина дрен.

Пример 1. На осушаемом объекте, верхний слой ($h_b = 2,5$ м) которого представлен супесями ($k = 0,5$ м/сут), а второй толщиной 5 м — мелкозернистыми песками ($k = 3,5$ м/сут), подстилаемыми тяжелыми суглинками ($k = 0,001$ м/сут), на глубине $b = 1,2$ м укладывается дренаж из керамических труб диаметром 50 мм ($D = 0,072$; $S_1 = 0,333$; $\tau_1 = 0,002$ м) с фильтром в виде полос стеклохолста шириной 10 см на стыках ($l_1 = 0,1$; $\delta = 0,001$ м; $k_{\phi} = 15$ м/сут). Глубина грунтовых вод к началу снеготаяния $a_1 = 0,2$ м, запас воды в снеге $H_{сн} = 0,15$ м, уклон поверхности почвы $i = 0,002$. К началу полевых работ за время $t = 10$ сут. необходимо понизить УГВ до глубины $a = 0,7$ м. Интенсивность осадков в расчетный период $p = 0,002$, испарение $e = 0,0005$ м/сут. Найти расстояние между дренажными линиями при установившейся фильтрации.

I. Исходя из заданных условий, расчетную фильтрационную схему принимаем двухслойной (схема 3) и находим:

$$m_b = h_b - b = 2,5 - 1,2 = 1,3 \text{ м}; m_n = 5,0 \text{ м};$$

$$m = 5,0 + 1,3 = 6,3 \text{ м}; k_b = 0,5; k_n = 3,5 \text{ м/сут.}$$

II. Пользуясь схемой 1, вариант а, вычисляем исходные параметры:

$$\text{по (1.1) } H_p = 1,2 - 0,2 - 0,6 (0,7 - 0,2) = 0,7 \text{ м};$$

$$\text{по (1.7) при } i = 0,002 \text{ принимаем коэффициент стока } \sigma = 0,80;$$

$$\text{водоотдачу определяем по (1.5)}$$

$$\mu = 0,056 \sqrt[3]{0,5} \sqrt[3]{1,2 - 0,7} = 0,0315;$$

$$\text{слой воды, подлежащий отводу, находим по (1.4) } \omega = 0,15 (1 - 0,80) + (0,7 - 0,2) 0,0315 + (0,002 - 0,0005) 10 = 0,0532 \text{ м};$$

$$\text{по (1.3) вычисляем интенсивность инфильтрационного питания}$$

$$q = \frac{0,0532}{10} = 0,00532 \text{ м/сут.}$$

III. Фильтрационные сопротивления дренажа по характеру вскрытия пласта Φ_2 находим по зависимостям, приведенным на схеме 2, вариант I, в.

Сначала по (2.8) вычисляем сопротивления дренажных труб

$$C_r = 1,68 \lg \frac{4 \cdot 0,333}{0,072} \lg \frac{2 \cdot 0,333}{3,14 \cdot 0,002} = 4,31.$$

По (2.9) находим приращение сопротивлений, обусловленное влиянием фильтра,

$$\Psi_{\phi} = 2,3 \left(\frac{0,5}{15} - 1 \right) \lg \frac{0,072 + 2 \cdot 0,002}{0,072} = -0,0554.$$

Коэффициент, учитывающий влияние схемы укладки фильтра вычисляем по (2.10)

$$\alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{0,333 - 0,1}{0,333} \right)^2} = 0,81.$$

По (2.6) находим

$$\Phi_l = 0,81 (-0,0554) + 4,31 \left(1 - 0,81 + \frac{0,5}{15} 0,81 \right) = 0,881.$$

IV. Вычисляем общие фильтрационные сопротивления $L_{\text{нд}}$ по зависимости (3.4) схемы 3.

По (3.3) находим $m_0 = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35$ м, затем определяем коэффициент $\beta_{\text{в}}$ по рис. 22, вычислив предварительно по (124) коэффициенты

$$\lambda = \frac{3,5 - 0,5}{3,5 + 0,5} = 0,75; \quad \bar{r} = \frac{0,036}{5} = 0,0072; \quad \bar{m} = \frac{1,3 + 0,35}{5} = 0,33.$$

Зная $\lambda, \bar{r}, \bar{m}$, по рис. 22 находим $\beta_{\text{в}} = 1,06$.

По (3.4) вычисляем

$$\begin{aligned} L_{\text{нд}} = 1,06 \frac{3,5}{0,5} & \left[0,73 \cdot 6,3 \lg \frac{2 \cdot 6,3}{3,14 \cdot 0,072} + 1,46 \cdot 0,35 \lg \frac{4 \cdot 0,35}{3,14 \cdot 0,072} + \right. \\ & \left. + 0,318 (6,3 + 2 \cdot 0,35) 0,881 \right] + \frac{0,5 - 3,5}{0,5} \left[0,73 \cdot 1,3 \lg \frac{2 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 0,072} + \right. \\ & \left. + 1,46 \cdot 0,35 \lg \frac{4 \cdot 0,35}{3,14 \cdot 0,072} + 0,318 (1,3 + 2 \cdot 0,35) 0,881 \right] = 65,4 \text{ м.} \end{aligned}$$

V. Проводимость пласта находим по (3.2)

$$T = 0,5 (1,3 + 0,35) + 3,5 \cdot 5 = 18,33 \text{ м}^2/\text{сут}$$

и по (3.1) вычисляем расстояние между дренажными линиями

$$B = 4 \left(\sqrt{65,4^2 + \frac{0,7 \cdot 18,33}{2 \cdot 0,00532}} - 65,4 \right) = 35 \text{ м.}$$

Пример 2. При условиях, указанных в примере 1, найти расстояние между дренами по методу неустановившейся фильтрации.

I. Пользуясь схемой 1, вариант а, находим исходные расчетные параметры:

$$H_0 = 1,2 - 0,2 = 1,0 \text{ м;} \quad (1.15)$$

$$h_l = 1,2 - 0,7 = 0,5 \text{ м;} \quad (1.16)$$

$$\Delta = 0,7 - 0,2 = 0,5 \text{ м;} \quad (1.17)$$

$$m_0 = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ м} \quad (1.18)$$

Водоотдачу определяем по (1.19)

$$\mu = 0,056 \sqrt[3]{0,5} \sqrt[3]{0,5} + \frac{0,15(1 - 0,80) + (0,002 - 0,0005) 10}{0,5} = 0,108.$$

II. Вычисляем фильтрационные сопротивления по (3.4) при $m_0 = m'$

$$L_{\text{нд}} = 1,06 \frac{3,5}{0,5} \left[0,73 \cdot 6,3 \lg \frac{2 \cdot 6,3}{3,14 \cdot 0,072} + 1,46 \cdot 0,25 \lg \frac{4 \cdot 0,25}{3,14 \cdot 0,072} + \right. \\ \left. + 0,318 (6,3 + 2 \cdot 0,25) 0,881 \right] + \frac{0,5 - 3,5}{0,5} \left[0,73 \cdot 1,3 \lg \frac{2 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 0,072} + \right. \\ \left. + 1,46 \cdot 0,25 \lg \frac{4 \cdot 0,25}{3,14 \cdot 0,072} + 0,318 (1,3 + 2 \cdot 0,25) 0,881 \right] = 61,6 \text{ м.}$$

III. Найдем время стабилизации τ . Для чего, пользуясь схемой 3, вариант а, предварительно вычислим:

$$\text{по (3.11)} \quad \eta = \frac{0,5}{1,0} = 0,5;$$

$$\text{по (3.13)} \quad \eta_m = \frac{17,225}{0,5 \cdot 0,5} = 69.$$

Из рис. 27 при $1 - \eta = 0,5$ и $\eta_m = 69 > 3$ (кривая 4) находим относительное время $\bar{t} = 0,3$.

Теперь по (3.12) определяем

$$\tau = \frac{10}{0,3} = 33,3 \text{ сут.}$$

IV. Проводимость пласта находим по (3.6)

$$T = 0,5 (1,3 + 0,25) + 3,5 \cdot 5 = 17,225 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Расстояния между дренами вычисляем по (3.5)

$$B = 4 \left(\sqrt{61,6^2 + \frac{33,3 \cdot 17,225}{4 \cdot 0,108}} - 61,6 \right) = 40 \text{ м.}$$

Пример 3. Грунтовые условия такие же, как в примере 1. К началу осенних дождей УГВ находится на глубине $\bar{a}_1 = 1,2$ м. Сумма осадков за период $t = 15$ сут. составляет $\Sigma h = 0,09$ м, испарение в этот период $e = 0,0005$ м/сут. Найти расстояние между дренами из условия, что УГВ поднялся не ближе $\bar{a} = 0,4$ м от поверхности (по допустимому подъему).

I. По формулам схемы 1, вариант а, определим исходные расчетные параметры:

$$(1.37) \quad H_0 = b - \bar{a}_1 = 1,2 - 1,2 = 0;$$

$$(1.38) \quad h_t = 1,2 - 0,4 = 0,8 \text{ м};$$

$$(1.33) \quad m_0 = 0;$$

$$(1.39) \quad q = \frac{0,09 - 0,0005 \cdot 15}{15} = 0,00567 \text{ м/сут};$$

$$(1.35) \quad \text{недостаток насыщения } \mu = 0,056 \sqrt[3]{0,5} \sqrt[3]{0,8} = 0,0355.$$

II. Находим время стабилизации по схеме 3, вариант б, определив предварительно

$$\text{по (3.19) } \gamma = \frac{0,0355 \cdot 0,8}{0,00567 \cdot 15} = 0,334.$$

и по рис. 25 $\bar{t} = 1,45$.

$$\text{Из (3.12) } \tau = \frac{15}{1,45} = 10,35 \text{ сут.}$$

III. Фильтрационные сопротивления вычисляем по (3.4), приняв из примера 1: $m = 6,3$ м; $m_a = 1,3$ м; $\beta = 1,06$; $m_0'' = 0$; $\Phi_l = 0,881$

$$L_{\text{на}} = 1,06 \frac{3,5}{0,5} \left[0,73 \cdot 6,3 \lg \frac{2 \cdot 6,3}{3,14 \cdot 0,072} + 0,318 \cdot 6,3 \cdot 0,881 \right] + \\ + \frac{0,5 - 3,5}{0,5} \left[0,73 \cdot 1,3 \lg \frac{2 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 0,072} + 0,318 \cdot 1,3 \cdot 0,881 \right] = 64,6 \text{ м.}$$

IV. Междренные расстояния вычислим по (3.5)

$$B = 4 \left(\sqrt{64,6^2 + \frac{10,35 \cdot 17,15}{4 \cdot 0,0355}} - 64,6 \right) = 36 \text{ м.}$$

Пример 4. Найти междренные расстояния при следующих условиях: грунт трехслойный $m_1 = 2,0$; $m_2 = 1,5$; $m_3 = 6,5$ м; $k_1 = 0,5$; $k_2 = 2,0$; $k_3 = 1,0$ м/сут; $H_p = 0,8$ м; $q = 0,01$ м/сут; трубы пластмассовые с продольно-щелевой перфорацией ($S = 0,05$; $l = 0,025$; $\tau_0 = 0,002$; $D = 0,08$ м; $n = 6$) уложены в траншеи ($b_1 = 0,5$ м) с песчано-гравийным фильтром высотой $h_1 = 0,3$ м, водопроницаемость фильтра $k_{\text{ф}} = 10$ м/сут.

Расчеты выполним по методу установившейся фильтрации, приняв за расчетную схему 5, вариант а, так как $k_1, k_3 < k_2$.

I. Найдем фильтрационные сопротивления дренажа по характеру вскрытия пласта Φ_l . Для этого сначала по (2.20) схемы 2, вариант IV, вычисляем приведенную толщину фильтра

$$\delta = \frac{0,53 (0,5 + 0,3) - 0,08}{2} = 0,172 \text{ м.}$$

По (2.17)

$$\Phi_l = 2,3 \left(\frac{0,5}{10} - 1 \right) \lg \frac{0,08 + 2 \cdot 0,172}{0,08} + 4,6 \frac{0,05}{6 \cdot 0,025} \lg \frac{2 \cdot 0,05 \cdot 0,08}{0,025 \cdot 0,002} = -1,4.$$

II. Вычисляем расчетные мощности слоев по формулам схемы 5, вариант а:

$$m = 2 + 1,5 + 6,5 = 10 \text{ м;} \quad (5.4)$$

$$m_* = 2 + 1,5 = 3,5; \quad (5.5)$$

$$m_0 = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ м.} \quad (5.8)$$

Найдем сопротивление f_l , пользуясь формулой (5.6):

$$f = 0,73 \lg \frac{2m}{\pi D} = 0,73 \lg \frac{2 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,08} = 1,385;$$

$$f_* = 0,73 \lg \frac{2m_*}{\pi D} = 0,73 \lg \frac{2 \cdot 3,5}{3,14 \cdot 0,08} = 1,055;$$

$$f_1 = 0,73 \lg \frac{2m_1}{\pi D} = 0,73 \lg \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 0,08} = 0,857.$$

По (5.7) вычисляем сопротивления $f_{l,0}$:

$$f_0 = 1,46 \frac{m_0}{m} \lg \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2}{\pi} \left(0,5 + \frac{m_0}{m} \right) \Phi_l = 1,46 \frac{0,4}{10} \lg \frac{4 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,08} + \\ + \frac{2}{3,14} \left(0,5 + \frac{0,4}{10} \right) (-1,4) = -0,434;$$

$$f_{*,0} = 1,46 \frac{m_0}{m_*} \lg \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2}{\pi} \left(0,5 + \frac{m_0}{m_*} \right) \Phi_l = 1,46 \frac{0,4}{3,5} \lg \frac{4 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,08} + \\ + \frac{2}{3,14} \left(0,5 + \frac{0,4}{3,5} \right) (-1,4) = -0,439;$$

$$f_{1,0} = 1,46 \frac{m_0}{m_1} \lg \frac{4m_0}{\pi D} + \frac{2}{\pi} \left(0,5 + \frac{m_0}{m_1} \right) \Phi_l = 1,46 \frac{0,4}{2,0} \lg \frac{4 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,08} + \\ + \frac{2}{3,14} \left(0,5 + \frac{0,4}{2,0} \right) (-1,4) = -0,389.$$

Коэффициенты β_l найдем из рис. 22, вычислив предварительно по (125) — (127) параметры λ , $\overline{m}$ и $\overline{r}$

$$\overline{r} = \frac{r_1}{m_1} = \frac{0,04}{2} = 0,02.$$

$$\text{По (125) } \lambda = \frac{1,0 - 2,0}{1,0 + 2,0} = -0,333;$$

$$m^* = m_3 + m_2 = 6,5 + 1,5 = 8,0 \text{ м};$$

$$\overline{m} = \frac{m_3}{m^*} = \frac{6,5}{8,0} = 0,812.$$

Так как $\lambda = -0,333 < 0$, то $\beta_1 = 1$.

$$\text{По (126) } \lambda = \frac{2,0 - 0,5}{2,0 + 0,5} = 0,6;$$

$$\overline{m} = \frac{m^*}{m_1 + m_0} = \frac{8,0}{2,0 + 0,4} = 3,33.$$

Из рис. 22 при $\overline{r} = 0,02$; $\lambda = 0,6$ и $\overline{m} = 3,33$ находим $\beta_2 = 0,93$.

$$\text{По (127) } \lambda = \frac{2 - 0,5}{2 + 0,5} = 0,6;$$

$$\overline{m} = \frac{m_2}{m_1 + m_0} = \frac{1,5}{2 + 0,4} = 0,625.$$

При данных λ , $\overline{m}$, $\overline{r}$ из рис. 22 $\beta_* = 1,02$.

III. Фильтрационные сопротивления $L_{нд}$ определяем по (5.3)

$$L_{\text{нд}} = 1,0 \cdot 0,93 \cdot 10 \frac{1,0}{2,0} (1,385 - 0,434) + 1,02 \cdot 3,5 \frac{2,0 - 1,0}{0,5} \times \\ \times (1,055 - 0,439) + 2,0 \frac{0,5 - 2,0}{0,5} (0,857 - 0,389) = 6,0 \text{ м.}$$

Проводимость пласта по (5.2) будет:

$$T = 0,5 (2,0 + 0,4) + 2,0 \cdot 1,5 + 1,0 \cdot 6,5 = 10,7 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Расстояние между дренами находим по (5.1)

$$B = 4 \left(\sqrt{6^2 + \frac{0,8 \cdot 10,7}{2 \cdot 0,01}} - 6 \right) = 62 \text{ м.}$$

Пример 5. Торфяник глубиной $h_b = 2,5$ м ($k_1 = 0,5$ м/сут подстиляется сапропелевыми отложениями мощностью 3,0 м ($k_2 = 0,004$ м/сут). Глубже залегают средне- и крупнозернистые пески, в которых пьезометрический напор достигает 0,2 м от поверхности болота. Массив осушается гончарным дренажем ($D = 0,072$; $S_1 = 0,33$; $\tau_1 = 0,002$ м), заложенным на глубину $b = 1,5$ м со сплошным фильтром из стеклохолста ($\delta = 0,001$ м; $k_{\text{ф}} = 15$ м/сут). Интенсивность инфильтрационного питания $q = 0,005$ м/сут. Найти расстояние между дренажными линиями при норме осушения $a = 0,8$ м.

Используем зависимости схемы 6. Так как $\frac{k_2}{k_1} = \frac{0,004}{0,5} = 0,008 < 0,01$, применим формулы (6.9) — (6.13).

I. Вычисляем фильтрационные сопротивления дренажа по характеру вскрытия пласта Φ_l , используя формулу (2.5) из схемы 2, вариант б

$$\Phi_l = 2,3 \left(\frac{0,5}{15} - 1 \right) \lg \frac{0,072 + 2 \cdot 0,001}{0,072} + 1,68 \frac{0,5}{15} \lg \frac{4 \cdot 0,33}{0,072} \lg \frac{2 \cdot 0,33}{3,14 \cdot 0,002} = \\ = 0,117.$$

Далее находим:

$$H = b - a = 1,5 - 0,8 = 0,7 \text{ м;}$$

$$\Delta H = b - 0,2 = 1,5 - 0,2 = 1,3 \text{ м;}$$

$$m_0 = 0,5H = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ м;}$$

$$m_1 = h_b - b = 2,5 - 1,5 = 1,0 \text{ м;}$$

$$m_2 = 3,0 \text{ м;}$$

$$\text{по (6.2) } \bar{m} = 1,0 + 3,0 + 0,35 = 4,35 \text{ м;}$$

$$\text{по (6.4) } \bar{m}_* = 1,0 + 0,35 = 1,35 \text{ м.}$$

II. Первоначально принимаем $B = 20$ м. Вычисляем по формулам:

$$(6.12) \quad C_1 = \sqrt{\frac{0,004}{0,5 \cdot 1,35 \cdot 3,0}} = 0,0445 \text{ м}^{-1};$$

$$(6.13) \quad C_0 = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 3,0}{0,004 \cdot 1,35}} = 16,67;$$

$$(6.11) \quad B_0 = 0,5 \cdot 0,445 \cdot 20 = 0,445;$$

$$(6.10) \quad U_a = \frac{0,5 \cdot 16,67}{\text{sh } 0,445} = 18,13.$$

Общие фильтрационные сопротивления по (6.9) составят

$$\overline{\Phi}_d = 0,73 \frac{2 \cdot 1,35}{3,14 \cdot 0,072} + 1,46 \frac{0,35}{1,35} \lg \frac{4 \cdot 0,35}{3,14 \cdot 0,072} + \\ + \frac{2}{3,14} \left(0,5 + \frac{0,35}{1,35} \right) 0,117 + 0,5 \cdot 16,67 \operatorname{cth} 0,445 = 21,1.$$

III. Расход воды вычисляем по (6.3)

$$Q = \frac{0,5 \left[1,3 + \frac{0,005}{0,5} (1,0 - 0,5 \cdot 0,072) + \frac{0,005}{0,004} 3,0 \right]}{21,1} = 0,12 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

По (6.1) находим напор

$$H = \frac{0,005}{0,5} 0,35 + \frac{0,12}{0,5} (21,1 - 18,13) = 0,715 \text{ м.}$$

Проверку делаем по (6.19)

$$\overline{a} = 1,5 - 0,715 = 0,785 < a = 0,8 \text{ м.}$$

Следовательно, заданная норма осушения не обеспечивается. Принимаем $B = 19$ м и повторяем расчет. Получаем $H = 0,685$ м и $a = 0,815$ м, т. е. больше заданного. Окончательно принимаем $B = 19,5$ м.

Если второй слой ($k_2 = 0,004$ м/сут) принять за водоупор, как это иногда делается при осушении торфяников, подстилаемых сапропелями, то получим расстояние между дренами 34,5 м, т. е. явно завышенное.

Изложенная выше методика расчета междренних расстояний позволяет при проектировании учесть практически все основные факторы, их обуславливающие, и на основе технико-экономического анализа выбрать оптимальные варианты.

В принципе при проектировании дренажа можно принять любой материал фильтра и его толщину, различные схемы укладки фильтров, разные конструкции и диаметры труб. Все это существенно отразится на междренних расстояниях и удельных капиталовложениях на мелиорацию. Сравнение разных

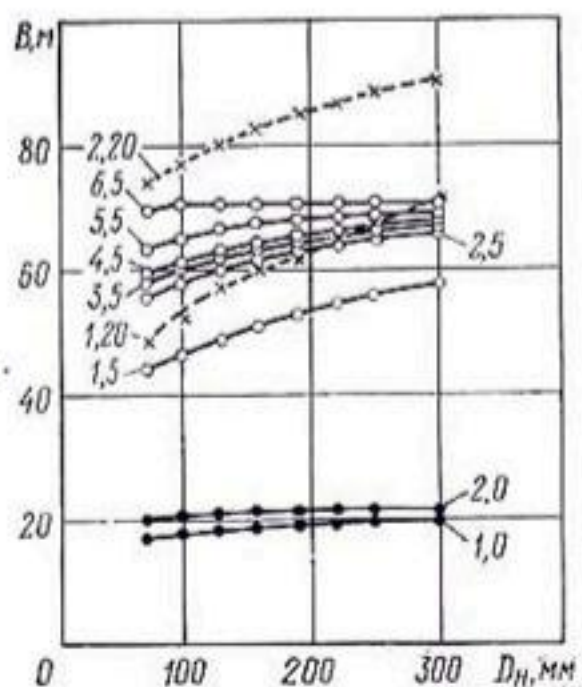


Рис. 28. Зависимость $B=f(D)$: 1,0÷2,20 — варианты по табл. 15.

вариантов позволит выбрать наиболее приемлемый в заданных условиях.

В качестве примера в табл. 15 и на рис. 28 приведены вычисленные по предлагаемому методу расстояния между дренами B при следующих исходных данных: трубы гончарные ($S_1=0,333$; $\tau_1=0,003$ м); $H_p=0,8$ м; $q=0,005$; $k_{rp}=1,0$ м/сут. Расчеты сделаны по методу установившейся фильтрации (схема 4) для случая однородного грунта и залегания дренажа на водоупоре, а также близко и относительно глубоко залегании водоупора. Анализ материалов таблицы и графиков позволяет сделать следующие выводы:

1. Применение сплошного фильтра в зависимости от его водопроницаемости и толщины позволяет увеличить междренные расстояния (по сравнению с укладкой дрен без фильтра) на 18—57% для труб $D_{\text{вн}}=50$ мм. С увеличением диаметра труб влияние фильтра уменьшается. При мощной гравийной обсыпке расстояния между дренами практически не зависят от диаметра труб.

2. Свойства фильтра (водопроницаемость, толщина), а также способ (схема) его укладки существенно влияют на междренные расстояния. При этом толщина фильтра играет незначительную роль при $k_f=\text{const}$. Так, для труб $D_{\text{вн}}=50$ мм увеличение толщины фильтра от 1 до 50 мм позволяет увеличить расстояния между дренами только на 7%. Увеличение толщины фильтра с 1 до 176 мм (варианты 4,5 и 6,5, табл. 15) при возрастании k_f в 3,3 раза позволило увеличить B на 17%. Следовательно, стремление увеличить толщину фильтра сверх необходимой для защиты от заиления нецелесообразно.

3. Наиболее приемлемой схемой укладки фильтров является круговая обертка. Однако сплошная узкая полоса стеклохолста снизу и полоски на стенках труб практически дают незначительное (1—2%) уменьшение B по сравнению с круговой оберткой (варианты 3,5 и 4,5). Несколько хуже эффект от применения полосок стеклохолста только на стыках. Уменьшение B составляет 8% (варианты 4,5 и 2,5). Но если учесть при этом незначительный расход пока относительно дефицитного материала, то и эта схема может оказаться вполне приемлемой.

4. Влияние увеличения диаметров труб на степень возрастания междренных расстояний зависит от глубины водоупора и закономерно возрастает с увеличением мощности дренируемого слоя. Как видно из графиков рис. 28,

Расчетные расстояния между гончарными дренами при различных вариантах защиты их от заилиenia

Номер варианта	Материал фильтра и способ его укладки	Расстояние между дренажными линиями B (м) при внутреннем диаметре гончарных труб $D_{\text{вн}}$ (D), мм							
		50 (72)	75 (101)	100 (130)	125 (161)	150 (190)	175 (219)	200 (248)	250 (300)

Дрены на водоупоре

1,0	Без фильтра (схема 2, вариант 1, а)	17,4	17,8	18,5	19,0	19,2	19,6	19,8	20,2
2,0	Фильтр из стеклохолста сплошным слоем $\delta=1$ мм, $k_{\text{ф}}=15$ м/сут (схема 2, вариант 1, б)	20,5	20,8	21,1	21,3	21,5	21,6	21,8	22,0

Глубина водоупора от оси дрены $m_d=5$ м

1,5	Без фильтра (схема 2, вариант 1, а)	44,2	46,5	49,3	51,8	53,4	54,7	56,0	58,0
2,5	Фильтр из стеклохолста в виде полос $l_1=10$ см вокруг стыков (схема 2, вариант 1, а)	55,9	58,3	60,5	61,7	62,9	63,9	64,7	66,6
3,5	Фильтр из стеклохолста сплошной полосой шириной $l=15$ см снизу и полоски $l_1=15$ см на стыках (схема 2, вариант 1, а)	58,4	60,6	62,2	63,6	64,7	65,4	66,4	67,7
4,5	Фильтр из стеклохолста вкруговую (схема 2, вариант 1, б)	59,3	61,5	63,3	64,6	65,5	66,2	67,2	68,4
5,5	Фильтр из стеклохолста (или торфокрошки) вкруговую ($\delta=50$ мм, $k_{\text{ф}}=15$ м/сут, схема 2, вариант 1, б)	63,5	64,9	66,3	67,0	67,5	68,2	68,8	69,9
6,5	Фильтр из песчано-гравийной смеси в виде засыпки шириной $\sigma_1=50$, высотой $h_1=30$ см, $k_{\text{ф}}=50$ м/сут (схема 2, вариант IV)	69,6	70,5	70,7	70,7	70,8	70,9	71,0	71,0

Глубина водоупора от оси дрены $m_d=20$ м

1,20	Без фильтра (схема 2, вариант 1, а)	49,0	52,3	57,5	60,6	62,2	65,8	67,2	71,4
2,20	Фильтр из стеклохолста вкруговую (схема 2, вариант 1, б)	74,0	77,2	80,5	82,4	85,4	86,6	88,3	90,5

при залегании дрени на водоупоре влияние диаметров незначительно. При неглубоком залегании водоупора и круговом фильтре увеличение диаметров труб с 50 до 75 и 100 мм позволяет увеличить B на 4 и 6%. В то же время стоимость труб возрастает очень существенно. Сравнительные расчеты показывают, что в этом случае увеличивать диаметры дренажных труб с точки зрения их осушительного действия нецелесообразно. Что касается случая более глубокого залегания водоупора $m_d = 20$ м, то влияние диаметров труб здесь несколько большее. Например, увеличение D с 50 до 75, 100 и 150 мм дает возможность увеличить расстояния на 7, 14 и 24% соответственно. Однако и в этом случае целесообразность увеличения диаметров труб необходимо подтвердить экономическими расчетами.

5. Бытующее мнение о том, что лучше идти на отказ от применения фильтров и взамен увеличивать диаметры труб, допуская их некоторое заиливание, ничем не оправдано. Так, при $D_{\text{шт}} = 50$ мм с круговым фильтром из стеклохолста $B = 59$ м (вариант 4,5), а при $D_{\text{шт}} = 100$ мм, но без фильтра в тех же условиях $B = 49$ м. Экономическая целесообразность такого мероприятия явно сомнительна.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ФИЛЬТРОВ

При расчетах междренних расстояний необходимо знать коэффициенты фильтрации материалов, применяемых для защиты дренажа от механического заиливания. Обычно пользуются таблицами или формулами, содержащимися в различных справочниках, нормативных документах и т. п. Приводимые в них данные соответствуют поперечной (имеются в виду и тонкие материалы) фильтрации в чистой воде при определенных нагрузках на фильтр в приборах типа Дарси, Каменского и т. п. Однако необходимо учитывать то обстоятельство, что в случае гончарного дренажа во всех фильтрах, и в особенности очень тонких, таких, как стеклохолст, имеет место не поперечная, а продольная фильтрация (см. рис. 3). С другой стороны, все без исключения фильтры в той или иной степени кольматируются в процессе работы дренажа. Степень кольматации зависит от физико-технических свойств фильтра и гранулометрического состава грунта, а также от конструктивных особенностей самих дренаж-

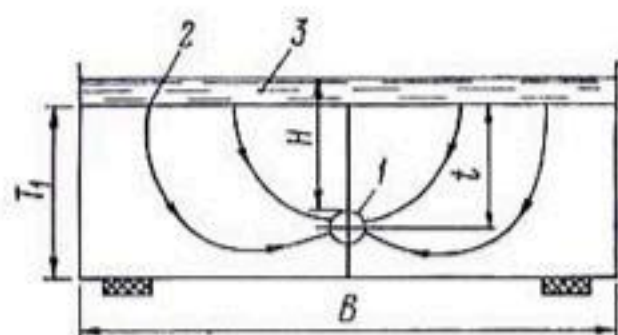


Рис. 29. Схема подрусловой дрены (лоток):

1 — дрена; 2 — поверхность грунта; 3 — поверхность воды.

ных труб, определяющих направление фильтрационного потока и распределение его градиентов.

Если при проектировании пользоваться данными о поперечной водопроницаемости материалов, определенной в чистой воде на приборах Дарси, то междренные расстояния вследствие неучета характера фильтрации и кольматирования материала могут быть завышенными. В настоящее время нет методики определения водопроницаемости фильтрующих материалов применительно к условиям их работы (с учетом конструктивных особенностей дренажных труб, водных и грунтовых нагрузок и кольматации). Нами предлагается для определения коэффициентов фильтрации материалов, предназначенных для защиты дренажа от заиливания, проверки соответствия их заданным грунтовым условиям, а также при испытаниях и определении k_{ϕ} трубофильтров пользоваться лабораторным методом с проведением экспериментов в грунтовых лотках по схеме подрусловой дрены (рис. 29).

Приток воды к подрусловой дрене, несовершенной по характеру вскрытия пласта и уложенной с фильтром, определяется следующей зависимостью:

$$Q = \frac{2\pi k_{\text{гр}} H L}{\Phi_0 + \Phi_i}. \quad (132)$$

Согласно строгому решению В. В. Ведерникова для подрусловой дрены [9]

$$\Phi_0 = \ln \left[\operatorname{tg} \frac{\pi (4t - D)}{8T_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_1} \right], \quad (133)$$

где T_1 — мощность водоносного слоя;

t — глубина дрены.

В соответствии с приведенным выше нашим решением

$$\Phi_i = \left(\frac{k_{\text{гр}}}{k_{\phi}} - 1 \right) \ln \frac{D + 2\delta}{D} + \frac{k_{\text{гр}}}{k_{\phi}} C_i. \quad (134)$$

Подставляя (133) и (134) в (132) и разрешив его относительно k_{ϕ} , получим

$$k_{\phi} = \frac{k_{rp} \left(\ln \frac{D + 2\delta}{D} + C_l \right)}{\frac{2\pi k_{rp} H L}{Q} - \ln \left[\operatorname{tg} \frac{\pi (4t - D)}{8T_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_1} \right] - \ln \frac{D + 2\delta}{D}} \quad (135)$$

Все входящие в (135) параметры известны заранее, величина дренажного стока Q замеряется в процессе проведения эксперимента. Для получения достоверных данных грунтовой лоток и схема опыта должны удовлетворять следующим условиям:

$$\frac{D}{T_1} \leq 0,15; \quad \frac{D}{t} \leq 0,5; \quad \frac{D}{B_*} \leq 0,03; \quad L \geq 0,66 \text{ м}, \quad (136)$$

где B_* — поперечный размер лотка;

L — продольный (по оси дрены) размер лотка.

Кроме того, опыты должны продолжаться до стабилизации расходов, но не менее 2 суток. Водопроницаемость грунта определяется известными методами (прибор Дарси, по гидродинамической сетке и др.). При изучении k_{ϕ} трубофильтров в (133) — (135) D — внутренний диаметр, δ — толщина стенки. Полученные по данному методу значения k_{ϕ} , строго говоря, будут соответствовать только данному грунту и данной конструкции трубы. Определив k_{ϕ} в чистой воде и сравнив его с полученным в грунтовой лотке, можно оценить степень кольматации фильтра.

Естественно, что проводить эксперименты по определению k_{ϕ} со всеми встречающимися грунтами и конструкциями дренажных труб практически невозможно. Поэтому нужно выбрать крайние по опасности кольматации фильтра разновидности грунта (сделать это можно на основе предварительной оценки согласно положениям, изложенным выше, см. стр. 62) и крайние по вскрытию поверхности трубы, например гончарные и пористые.

Пример. В грунтовой лотке гончарная дрена ($D = 0,1$; $L = 1,0$; $S_1 = 0,33$; $\tau_1 = 0,003$ м) уложена со сплошным фильтром из стеклохолста ($\delta = 0,001$ м; $k_{\phi}^0 = 300$ м/сут). Лоток загружен мелкозернистым песком ($k_{rp} = 1,2$ м/сут). При условиях опыта — $T_1 = 1,0$; $t = 0,7$ и $H = 0,8$ м дренажный сток составил 46,3 см³/с ($Q = 46,3 : 11,57 = 4,0$ м³/сут). Определить расчетный коэффициент фильтрации стеклохолста.

По формуле (2.2) из схемы 2 находим

$$C_l = 1,68 \lg \frac{4S_1}{D} \lg \frac{2S_1}{\pi r_1} = 1,68 \lg \frac{4 \cdot 0,33}{0,1} \lg \frac{2 \cdot 0,33}{3,14 \cdot 0,003} = 3,75$$

и по (135) вычисляем

$$k_{\phi} = \frac{1,2 \left(2,3 \lg \frac{0,1 + 2 \cdot 0,001}{0,1} + \frac{2,314 \cdot 0,8 \cdot 1}{4,0} - 2,3 \lg \left[\operatorname{tg} \frac{3,14 (4 \cdot 0,7 - 0,1)}{8,1} \operatorname{ctg} \frac{3,14 \cdot 0,1}{8,1} \right] - \right.}{\left. - 2,3 \lg \frac{0,1 + 2 \cdot 0,001}{0,1} + 3,75 \right)} = 15,8 \text{ м/сут.}$$

Если сравнить k_{ϕ} с k_{ϕ}^0 , полученным в чистой воде при поперечной фильтрации, то видим, что вследствие кольматации и продольной фильтрации k_{ϕ} существенно (в 19 раз) меньше.

В приложении 4 даны осредненные значения расчетных коэффициентов фильтрации материалов, применяемых в качестве дренажных фильтров, которыми и нужно пользоваться при проектировании.

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ-ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ГОНЧАРНОГО ДРЕНАЖА

В настоящее время гончарный дренаж в БССР строится с фильтрами из стеклохолста по прерывистой (полоски на стыках), комбинированной и сплошной схемам (рис. 30, а, б, в). Укладка стеклохолста в большинстве случаев ведется вручную рабочим, находящимся в траншее в довольно неблагоприятных условиях. Стремление улучшить условия производства работ, повысить производительность труда, обеспечить надежность сочленения труб при одновременной защите их от заиливания привело в последние годы к широкому экспериментированию и частичному внедрению всевозможных соединительных деталей-фильтров (муфт, втулок, шайб и т. п.) из фильтрующих и водонепроницаемых материалов. Известны разработанные Львовгипроводхозом соединительные втулки из полиэтилена, имеющие продольно-щелевую перфорацию в средней части с наклеенной сверху полосой стеклохолста шириной 15—19 мм (рис. 31, а). Втулки вставляются внутрь трубок (рис. 30, е) одновременно с их уклад-

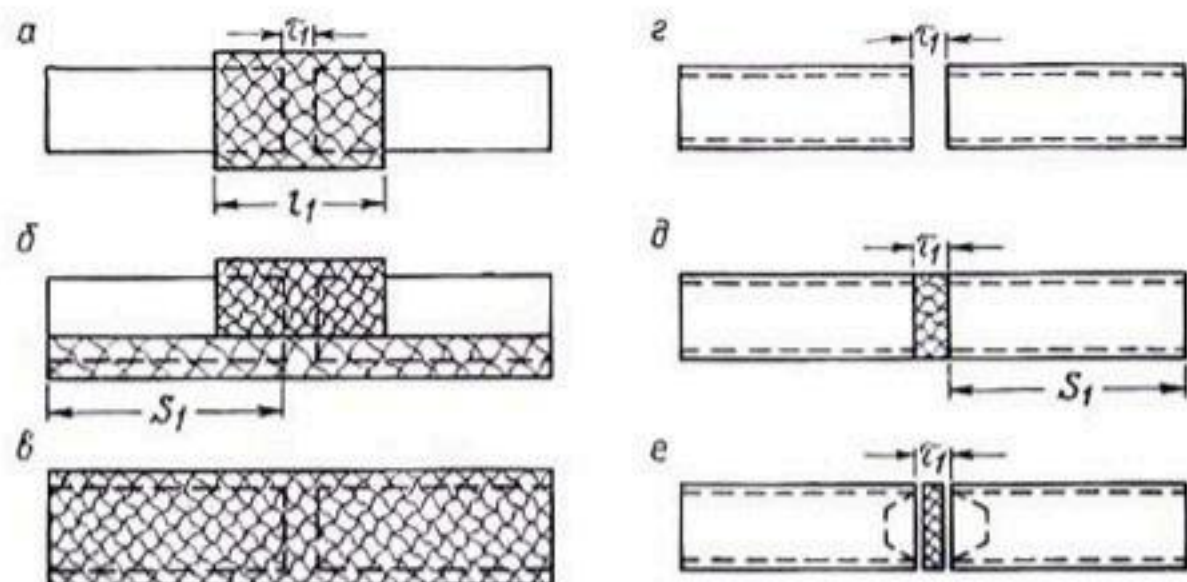


Рис. 30. Схемы укладки гончарного дренажа:

a — с прерывистым фильтром или муфтами; *б* — с комбинированным фильтром; *в* — со сплошным фильтром; *г* — без фильтра; *д* — с шайбами в стыках; *е* — с втулками.

кой на склиз экскаватора рабочим, находящимся на поверхности. Несколько отличную конструкцию втулок предложил СевНИИГиМ. Втулки из полиэтилена имеют в средней части мелкие круглые отверстия и фильтром не перекрываются (рис. 31 *г*). Вставляются они внутрь труб так же, как и львовские втулки. По мнению авторов, дренаж заилиться не должен ввиду того, что над мелкими отверстиями всегда будет обеспечиваться устойчивое сво-

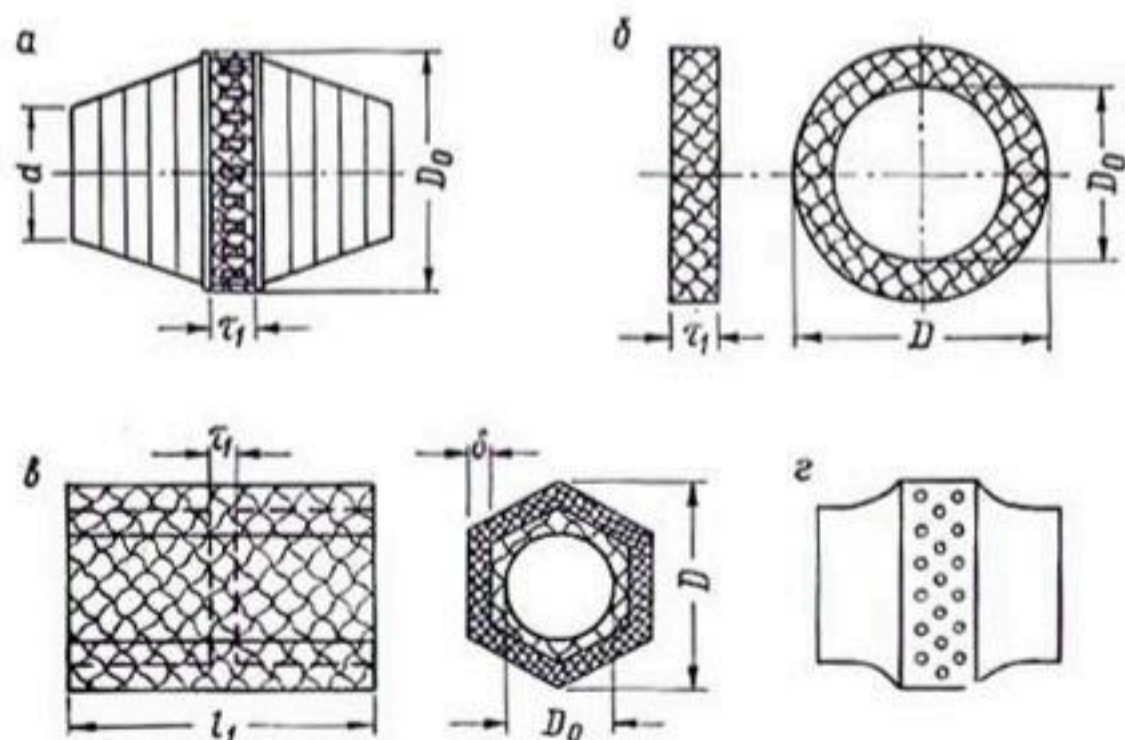


Рис. 31. Соединительные детали-фильтры.

a — втулка львовская; *б* — шайба-фильтр ЦНИИМЭСХ; *в* — муфта БелНИИМнВХ; *г* — втулка СевНИИГиМ.

дообразование из частиц скелета грунта. Из других предложений можно отметить шайбы ЦНИИМЭСХ из стекловаты или стеклохолста (рис. 31, б), вставляемые в стык между трубами (рис. 30, д), и муфты БелНИИМиВХ из полиэтиленхолста, надеваемые на граненые трубы снаружи (рис. 31, в и 30, а).

При создании (и применении) приемлемых для практики соединительных деталей следует, наряду с обеспечением надежности сочленения труб, защиты их от заиливания и удобств механизированной укладки, не упускать из виду главный вопрос — осушительный эффект дренажа. С помощью различных муфт, втулок и т. п. в принципе можно осуществить вполне надежное сочленение труб, убрать рабочего из траншей, повысить производительность труда, но при этом осушительный эффект дренажа по сравнению с круговым (сплошным) фильтром будет заведомо ниже. Подтверждением являются эксперименты, проведенные нами в грунтовых лотках (табл. 16).

Таблица 16

Сток из дрен, уложенных с различными соединительными деталями-фильтрами

Схема укладки гончарных дрен	Сток Q , см ³ /с	$\frac{Q}{Q_0}$
Без фильтра, $\tau_1=2$ мм	0,33	0,38
С шайбами ЦНИИМЭСХ, $\tau_1=10$ мм	0,35	0,40
С львовскими втулками, $\tau_1=15$ мм	0,36	0,42
С муфтами БелНИИМиВХ, $l_1=90$; $\delta=2$; $\tau_1=2$ мм	0,58	0,67
С полосками стеклохолста на стыках $\delta=1$; $l_1=200$; $\tau_1=2$ мм	0,80	0,92
С круговым фильтром из стеклохолста (Q_0), $\delta=1$; $\tau_1=2$ мм	0,87	1,0

Применение муфт, втулок и шайб взамен сплошного фильтра из стеклохолста немалого уменьшает приточность воды к дренам, их осушительный эффект. Отсюда неизбежно возникает необходимость сокращения междренних расстояний. Кроме того, опыты Н. М. Варнакова показали, что вставка внутрь гончарных труб соединительных втулок, вследствие уменьшения площади их сечения и создания дополнительной внутренней шероховатости, существенно ухудшает гидравлические характеристики дренажа. Пропускная способность снижается в 1,8—2 ра-

Расчетные расстояния между дренами ($H_p=0,8$,
 $m_d=5,0$, $S_1=0,33$ м, $k_{гр}=1$ и $q=0,005$ м/сут)

Схема уклад и гончарного дренажа	В м	$\frac{B}{B_0}$
Без фильтра, $\tau_1=2$ м	44,0	0,73
С шайбами ЦНИИМЭСХ, $\tau_1=10$ мм	48,8	0,81
С львовскими втулками, $\tau_1=15$ мм	50,0	0,83
С муфтами БелНИИМиВХ, $\tau_1=2$, $l_1=100$, $\delta=2$ мм, $k_{ф}=30$ м/сут	56,8	0,95
С прерывистым фильтром из стеклохолста, $\tau_1=2$, $l_1=100$, $\delta=1$ мм, $k_{ф}=15$ м/сут	56,0	0,93
С круговым фильтром из стеклохолста, $\delta=1$, $\tau_1=2$ мм, $k_{ф}=15$ м/сут (B_0)	60	1,0

за, а следовательно, необходимо будет уменьшать предельные длины дренажных линий и переходить на большие диаметры.

В табл. 17 даны результаты расчетов междренних расстояний по изложенной выше методике для различных схем укладки гончарного дренажа. Сделано допущение, что осушительное действие дрена с втулками и фильтрующими шайбами между трубами равнозначно с работой дрена без них, но со стыковыми зазорами, равными ширине фильтрующей части вставляемых деталей τ_1 . Такое допущение (в пользу втулок и шайб) несущественно искажает действительную картину фильтрации.

Как видно из таблицы, применение соединительных деталей вызывает необходимость уменьшения междренних расстояний: с шайбами ЦНИИМЭСХ — на 19, с львовскими втулками — на 17 и с муфтами БЕЛНИИМиВХ — на 5% по сравнению с круговой оберткой труб стеклохолстом. Следовательно, с точки зрения осушительного действия дренажа (и гидравлики) применение вставляемых внутрь гончарных труб втулок нецелесообразно. Правда, при этом несколько увеличивается производительность труда и улучшаются условия работы. Но необходимы дополнительные затраты на детали. На 1 пог. м дренажа стоимость материала составляет: при круговой обертке стеклохолстом — 3,6 коп., при использовании львовских втулок — 15,3 коп. Если учесть, что в последнем случае можно еще уменьшить междренние расстояния, например, вместо 500 м дренажа на 1 га уло-

жить 585 м, то, бесспорно, увеличение производительности труда при этом не даст экономии денежных средств.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение тех или иных соединительных деталей требует тщательного технико-экономического анализа на основе учета влияния их на осушительное действие дренажа и затрат на материалы, рабочую силу, технику. По нашим расчетам, применительно к условиям Белоруссии внедрение соединительных втулок экономически не оправдывается. Кроме того, вероятность ухудшения с течением времени осушительного действия дренажа довольно высокая. Наиболее приемлемым вариантом следует считать наружные сплошные фильтры из материала, соответствующего заданным грунтовым условиям. Широкие ($l_1 \geq 100$ мм) наружные муфты из хорошо фильтрующего материала в некоторых случаях также могут оказаться эффективными.

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ ДРЕНАЖА ОТ МЕХАНИЧЕСКОГО ЗАИЛЕНИЯ

СПОСОБЫ (СХЕМЫ) ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Укладка фильтров осуществляется по следующим схемам (рис. 32):

схема *а* — перед укладкой в траншеи или в процессе строительства пластмассовые гибкие трубы оборачивают по спирали лентой стеклохолста шириной 15—25 см с нахлесткой краев не менее 30 мм;

схема *б* — предварительно уложенную на дно траншеи сплошную полосу стеклохолста шириной не менее чем на 50 мм больше наружного периметра дрен заворачивают вокруг труб после их укладки, нахлестку делают сбоку;

схема *в* отличается от схемы *б* только расположением нахлестки (сверху уложенных труб);

схема *г* — на разостланную по дну траншеи сплошную полосу стеклохолста шириной не менее 15 см укладывают трубы и накрывают сверху сплошной полосой стеклохолста, ширина которой не менее $3D$; нижняя полоса называется подстилочной, верхняя — покровной;

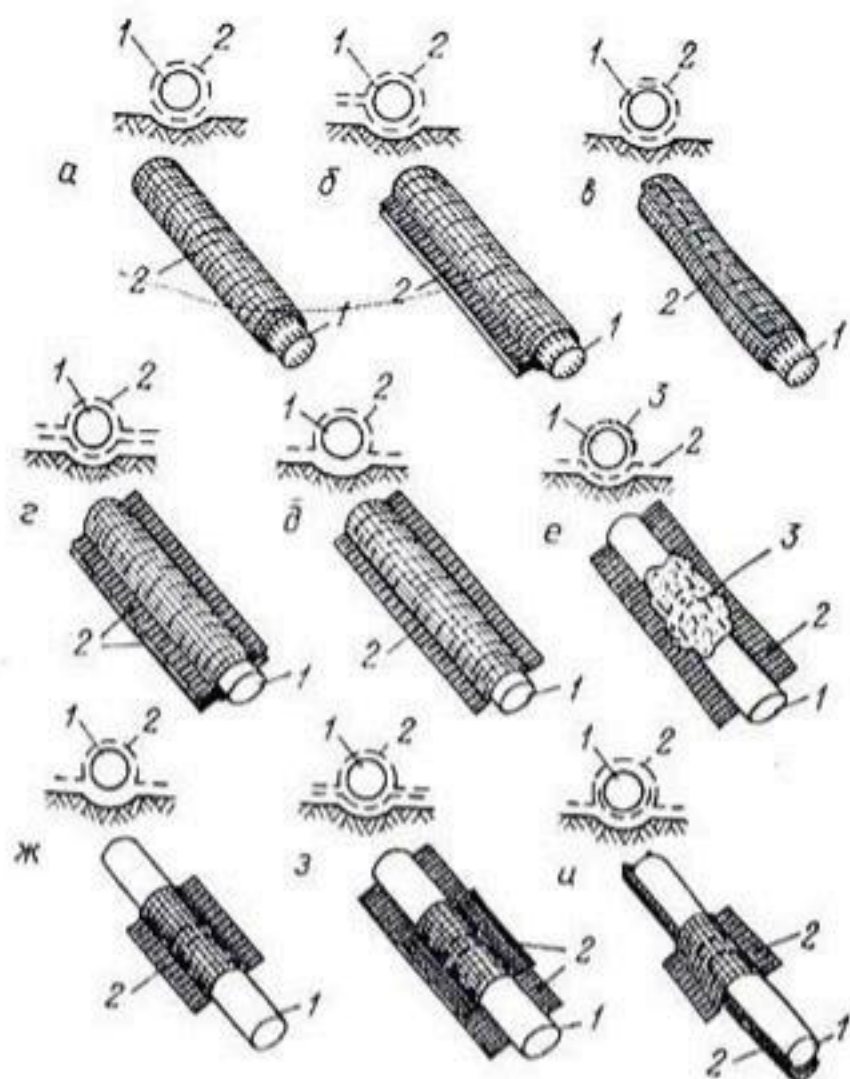


Рис. 32. Схемы защиты дрен от заиливания:

1 — труба; 2 — стеклохолст; 3 — стекловата, сфагновый мох, фрезерный торф, шлаковата и т. п.

схема *д* — трубы кладут в желобок на дне траншеи и сверху накрывают сплошной покровной лентой стеклохолста шириной не менее $3D$;

схема *е* — на дне траншеи расстилают сплошную полосу стеклохолста шириной не менее 15 см, уложенные на нее трубы (гончарные — в местах стыков, пластмассовые — сплошь) покрывают 3—5-сантиметровым слоем стекловаты;

схема *ж* — гончарные трубы укладывают в желобок траншеи, каждый стык перекрывают полосой стеклохолста шириной 10—15 см и длиной $3D$;

схема *з* — на дне траншеи расстилают сплошную полосу стеклохолста шириной не менее 15 см, на нее укладывают гончарные трубы и каждый стык перекрывают полосой стеклохолста шириной 10—15 см и длиной $3D$;

схема *и* — в желобок траншеи укладывают сплошную полосу стеклохолста шириной 10—15 см; каждый стык

Основные способы защиты гончарного дренажа от заиления

Грунты, в которых укладывается дренаж	Способы защиты
Плывуны и пылеватые пески, насыщенные водой	Сплошная обертка труб стеклохолстом в 1—2 слоя по схемам б, в или г, присыпка гумусным грунтом на высоту не менее 20 см, немедленная засыпка траншей на всю высоту
Супеси, пылеватые суглинки, пески мелко- и среднезернистые	При устойчивых откосах траншей и отсутствии в них воды применяют стеклохолст по схемам е, з или и; в водонасыщенных и слабых грунтах — сплошная обертка труб стеклохолстом по схемам б, в или г; в супесях и суглинках присыпка дрен осуществляется гумусным грунтом на высоту не менее 20 см; в водонасыщенных и слабых грунтах — немедленная засыпка траншей на всю высоту
Глины и суглинки, кроме пылеватых	Защита стеклохолстом по схеме д или ж, присыпка дрен гумусным грунтом на высоту не менее 20 см
Торф низинный, плотный, предварительно осушенный, при глубине грунтовых вод $> 1,2$ м Торф низинный, малой плотности и плотный, при высоком уровне грунтовых вод	Защита стеклохолстом по схеме ж, присыпка дрен торфом с верхних слоев Защита стеклохолстом по схеме д, присыпка дрен кусками торфа с верхних (сухих) слоев, немедленная засыпка траншей на полную глубину; при необходимости дренаж укладывается на стеллаж

уложенных сверху гончарных труб перекрывают полосой стеклохолста 10—15 см и длиной $3D$, подворачивая края под подстилочную ленту.

Выбор способа (схемы) зависит, как уже отмечалось, от гидрогеологических условий укладки дренажа, механического состава грунта, конструктивных особенностей труб и применяемых механизмов. В табл. 18 и 19 приводятся основные способы защиты дренажа от заиления в зависимости от грунтовых условий.

При отсутствии или недостатке стеклохолста в схемах г, е, з и и подстилочную ленту во всех грунтах можно заменить полиэтиленовой пленкой толщиной 50—100 мк или сплошной полосой стеклоткани. Покровную ленту

Основные способы защиты пластмассового дренажа от заиления

Грунты, в которых укладывается дренаж	Способы защиты
Мелкозернистые и пылеватые пески, плавунцы, супеси и пылеватые суглинки	Сплошная обертка труб стеклохолстом по схемам а, б, в или г, присыпка сверху гумусным грунтом на высоту не менее 20 см, немедленная засыпка траншей на всю высоту
Средне- и крупнозернистые пески	1. Укладка сплошной полосы стеклохолста сверху по схеме д, присыпка гумусным грунтом слоем не менее 20 см. 2. Без защиты, присыпка гумусным грунтом слоем не менее 20 см. И в том и в другом случае немедленная засыпка траншей на всю высоту
Торф низинный, плотный, предварительно осушенный, при глубине грунтовых вод > 1,2 м	Сплошная полоса стеклохолста сверху по схеме д, присыпка дрен сухим торфом с верхних слоев, немедленная засыпка траншей на всю высоту
Торф низинный, малой плотности, при высоком уровне грунтовых вод	Защита стеклохолстом по схемам а, б, в, г или д, присыпка дрен кусками сухого торфа с верхних слоев, немедленная засыпка траншей на всю высоту

Таблица 20

Расход стеклохолста при защите гончарного дренажа от заиления

Внутренний диаметр труб, мм	Ручной способ: защита стыков полосой стеклохолста, схема ж			Полумеханизированный способ: нижнюю часть труб—сплошной лентой, стыки—сверху полосой, схема з			Полумеханизированный способ: круговая защита, схемы б и в		Механизированный способ: сплошные ленты сверху и снизу труб, схема г			Механизированный способ: сплошная полоса сверху труб, схема д	
	Ширина полосы, см	Длина, см	Расход материала, м ²	Ширина нижней ленты, см	Ширина и длина верхней полосы, см	Расход материала, м ²	Ширина полосы, см	Расход материала, м ²	Ширина нижней полосы, см	Ширина верхней полосы, см	Расход материала, м ²	Ширина ленты, см	Расход материала, м ²
50	10	30	0,090	13	10×25	0,183	30	0,30	13	22	0,35	22	0,22
75	10	38	0,114	16	10×25	0,213	38	0,38	16	30	0,46	30	0,30
100	10	48	0,144	19	10×30	0,261	48	0,48	19	38	0,57	38	0,38
125	10	58	0,174	24	10×35	0,322	58	0,58	21	47	0,68	47	0,47
150	10	67	0,201	27	10×43	0,360	67	0,67	25	56	0,81	56	0,56

стеклохолста в схемах *г*, *ж*, *з* и *и* можно заменить 5—7-сантиметровым слоем сфагнового мха, фрезерного торфа или стекловаты.

В табл. 20 даны рекомендуемые размеры и расход стеклохолста на 1 пог. м гончарного дренажа при различных схемах укладки фильтров. В приложении 5 приведены ориентировочные стоимости защитных фильтрующих материалов [48].

ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТ

Механизированную укладку фильтров из стеклохолста осуществляют с помощью специальных приспособлений, устанавливаемых на траншейных экскаваторах. Для защиты дренажа по схеме *г* в трубоукладчик экскаватора ЭТЦ-202 устанавливают две бобины: в верхней части с подстилочной лентой, в нижней — с покровной (рис. 33). Подстилочная лента протягивается по спускному желобу трубоукладчика, на нее укладываются трубы. При движении экскаватора ленты, разворачиваясь с бобин, обвертывают трубы. Присыпка производится немедленно.

При защите дрен стеклохолстом по схемам *б* и *в* в трубоукладчике устанавливают только верхнюю бобину. Лента движется по спускному желобу вместе с трубами, рабочий вручную заворачивает края ленты над трубами или сбоку и присыпает их грунтом.

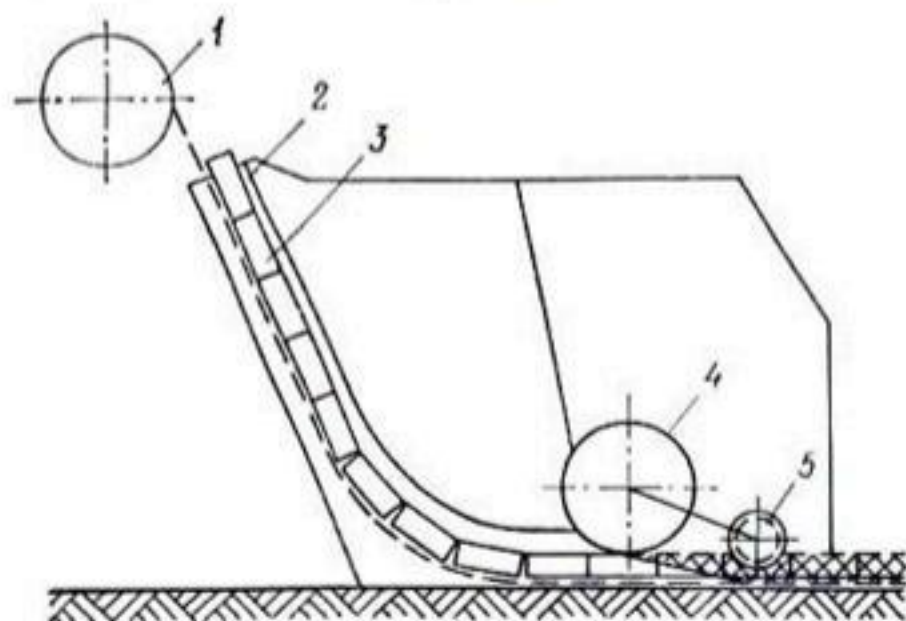
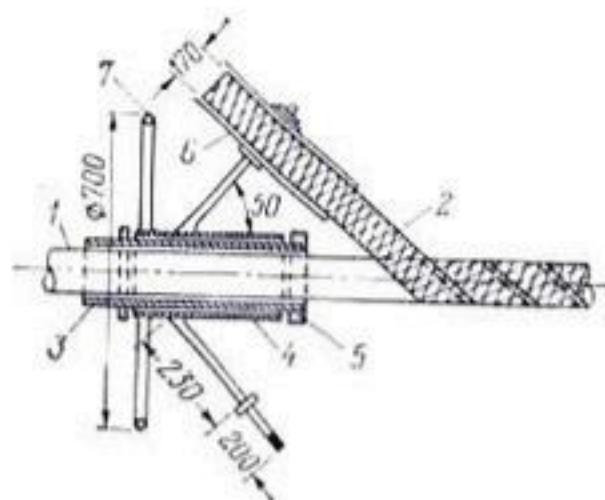


Рис. 33. Схема установки бобин в ящике-трубоукладчике траншейного экскаватора:

1 — бобина подстилочной ленты; 2 — желоб; 3 — трубы; 4 — бобина покровной ленты; 5 — прижимной ролик.

Рис. 34. Схема устройства для обертывания пластмассовых дренажных труб стеклохолстом:
 1 — дренажная труба; 2 — стеклохолст; 3 — отрезок металлической трубы $\varnothing 2,5''$; 4 — отрезок металлической трубы $\varnothing 3''$; 5 — шайба-ограничитель; 6 — диск из стали $t=1$ мм; 7 — колесо со спицами.



Для защиты труб по схеме 3 нужна только нижняя бобина. Полосы стеклохолста на стыки труб укладывают вручную.

Пластмассовые дренажные трубы перед укладкой в траншеи обворачиваются по спирали стеклохолстом шириной 15—25 см нахлестом не менее 30 мм (схема а) при помощи устанавливаемого на экскаваторе устройства, предложенного Слуцким СМУ Минмелиоводхоза БССР (рис. 34). Пластмассовые коллекторные трубы, поставляемые в отрезках, в устойчивых грунтах защищаются по схемам а, б и в.

Все соединения пластмассовых и гончарных труб независимо от принятой схемы защиты тщательно обворачиваются со всех сторон стеклохолстом. Особое внимание следует обращать на места смены диаметров труб и подключения дрен к коллекторам. После проведения защитных мероприятий места соединения труб необходимо немедленно присыпать слоем грунта в 20—30 см и утрамбовать.

Дрены, укладываемые на болотах, присыпаются только сухим торфом с верхних слоев, присыпать вынутым мокрым грунтом категорически запрещается.

Нередко случается, что правильно запроектированный и качественно построенный закрытый дренаж не оказывает достаточного осушительного действия: уровни грунтовых вод стоят близко к поверхности, а модули дренажного стока значительно меньше расчетных. И в то же время дренажные трубы не залены. Причиной слабого осушительного действия дренажа в таких случаях может явиться неправильная технология его укладки.

В настоящее время строительство дренажа осуществляется следующим образом. Одновременно с отрывкой траншей укладываются трубы, закрываются защитными фильтрами (там, где необходимо) и немедленно присы-

паются 10—15-сантиметровым слоем рыхлого грунта. Окончательная засыпка траншей, как правило, производится спустя несколько дней, а иногда и недель, пока технадзор не проверит качество работ. Такая технология не вызывает особых возражений, если на участке строительства уровни грунтовых вод стоят глубоко и нет дождей. Однако весьма часто, особенно весной и осенью, дренаж закладывается при довольно высоких уровнях грунтовых вод. Нередко за время от укладки и присыпки дрен до окончательной засыпки траншей выпадает значительное количество осадков.

Выклинивание грунтовых вод через откосы незасыпанных траншей и стекание по ним атмосферных осадков приводят к поверхностному размыву грунта на стенках и скоплению слоя воды над присыпкой. Поскольку поры в рыхлой присыпке имеют довольно большие размеры, в них возникает турбулентный поток жидкости с большими скоростями, что приводит к переносу частиц грунта к перфорациям дрен или фильтрам. Происходит довольно быстрый кольматаж отверстий в трубах или фильтрах. В хорошо разложившихся торфяниках, супесях, пылеватых суглинках и других легко размываемых грунтах наблюдается также разжижение слоя присыпки с образованием однородной грунтовой массы, которая, двигаясь к дренам, кольматирует фильтры или водоприемные отверстия в трубах. Практически то же происходит и тогда, когда дренаж укладывается в воду. Результатом указанных процессов, обусловленных неправильной технологией строительства, является то, что дренаж плохо функционирует и не справляется своевременно отводить грунтовые воды.

Чтобы избежать кольматажа отверстий труб или защитных фильтров, следует дренаж укладывать насухо и по возможности быстро (лучше сразу же) засыпать траншею на всю глубину. В этом случае засыпка вблизи труб быстро уплотнится, фильтрационные ходы станут малыми, суффозии и разжижения грунта не будет и опасность кольматажа водоприемных отверстий дрен или их фильтров сведется к минимуму. Условия нормального функционирования дренажа будут обеспечены. Кроме того, непрерывность технологического процесса по укладке дренажа может положительно сказаться на производительности работ.

Приведенные выше способы защиты дренажа от заиливания даны для случаев однородных грунтов и глубоких

(более глубины укладки дрен) торфяников. На практике в массиве грунта на отдельных участках встречаются линзы плывунов, пылеватых песков и др. При укладке дренажа необходимо строго следить за появлением таких мест и производить защиту в соответствии с изменившимися грунтовыми условиями. При сильной пестроте и частой смене грунтов по трассе дрены или коллектора, выбирая способ защитных мероприятий, за основу следует принимать наиболее неблагоприятный по заиляемости случай. На мелких торфяниках защита осуществляется исходя из свойств подпочвы, т. е. применяется один из способов, рекомендованных для минеральных грунтов.

При использовании фильтров из стеклохолстов должны соблюдаться правила техники безопасности (рабочие должны обеспечиваться защитными очками, перчатками, марлевыми повязками и т. д.). Стеклохолст непосредственно перед укладкой рекомендуется немного смочить водой, чтобы избежать его крошения и образования пыли. Нельзя оставлять обрывки стекломатериалов на поверхности почвы.

В случаях, если можно применить различные схемы защиты и защитные материалы, рекомендуется выбирать наиболее экономичный способ, исходя из конкретных условий объекта осушения и наличия материалов.

ЗАИЛЕНИЕ ДРЕНАЖА ЖЕЛЕЗИСТЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ, МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ *

ПРИЧИНЫ ОТЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ДРЕНАЖНЫХ ТРУБАХ

Одной из серьезных и наименее изученных причин выхода из строя горизонтального трубчатого дренажа является заиление полостей труб и водоприемных отверстий в них соединениями железа, так называемое заохривание дренажа.

Многочисленные исследования показывают, что первопричиной заохривания дренажа является повышенное содержание закисного железа в грунтовых водах. По со-

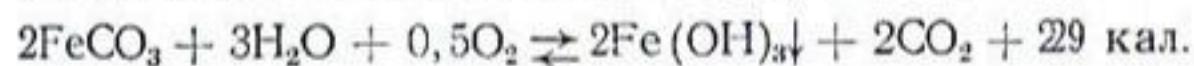
* Раздел написан совместно с Т. В. Беляевой.

держанию в литосфере железо занимает второе место (4,65%) среди металлов. В почве при наличии органических веществ Fe^{3+} восстанавливается до Fe^{2+} и легко мигрирует в анаэробных условиях в ионной или органоминеральной форме, а при встрече с кислородом воздуха Fe^{2+} окисляется, образуя скопления гидроокисей. Отложение и накопление железистых соединений в полостях дренажных труб может происходить в результате химических и микробиологических процессов. Большинство исследователей считают, что в общем процессе заохривания дренажа превалирующее значение имеют микробиологические процессы.

В почвенно-грунтовых водах железо содержится в форме гидрокарбонатов. Уравнение окисления гидрокарбонатов двухвалентного железа можно представить в следующем виде:



Микробиологическое заиление дренажа происходит в результате жизнедеятельности железобактерий, которые окисляют закисные соединения железа и используют освобождающуюся при этом энергию на усвоение углерода из углекислого газа или карбонатов. Этот процесс в упрощенном виде описывается следующей реакцией:



Идет она с незначительным выделением энергии. Для синтеза 1 г клеточного вещества железобактерии вида *Gallionella* окисляют 279 г закисного железа с образованием 534 г гидрата окиси железа [47, 54].

Большинство авторов за основной критерий опасности заиления дренажа железистыми соединениями принимают содержание закисного железа в почвенно-грунтовых водах. В табл. 21 приведены предлагаемые различными исследователями данные о степени опасности заиления дренажа в зависимости от содержания Fe^{2+} в грунтовых водах и pH среды. Из таблицы следует, что при содержании закисного железа в грунтовых водах < 3 мг/л опасность заохривания дренажа отсутствует или она незначительна. Зарубежные исследователи опасность заиления связывают еще и с показателем pH среды, считая, что в нейтральной и в слабокислой среде опасность заохривания дренажа намного ниже, чем в кислой. Одна-

Таблица 21

Автор	Опасность заохривания дренажа	Содержание Fe^{2+} в мг/л	pH
Ферда Ю., 1969, [61]	Отсутствует	0,3—0,7 (0,5)	3,5—5,5
	Низкая — средняя	0,2—33,5 (5,4)	4,7—7,4
	Средняя — высокая	0,8—19,3 (8,7)	3,6—6,1
	Низкая — высокая	0,3—43,3 (8,7)	4,3—7,0
	Высокая — очень высокая	2,1—58,5 (13,8)	4,3—7,7
Федотова З. Д. и Страутия В. П., 1972, [52]	Отсутствует	< 3	
	Низкая	3—5	
	Средняя	5—8	
	Высокая	> 8	
Кунтце Г., 1974, [65]	Отсутствует	< 1	> 7
	Низкая	< 1	< 7
		< 3	> 7
		1—3	< 7
	Средняя	3—6	> 7
		> 3	< 7
		> 6	> 7
Зайдельман Ф. Р., 1975, [15]	Отсутствует	< 3	
	Слабая	3—6	
	Средняя	6—12	
	Сильная	12—20	
	Очень сильная	> 25	
Маслов Б. С. и др., 1975, [29]	Отсутствует	< 3	
	Слабая	3—5	
	Средняя	5—8	
	Сильная	8—14	
	Очень сильная	> 14	

ко, по данным В. М. Зубца и А. Е. Вакара [16], при содержании железа в грунтовой воде до 2,7 мг/л увеличение pH с 6,4 до 7,3 вызвало возрастание степени заиления полостей труб от 2,2% до 6,7%, т. е. наблюдается обратное соотношение.

В этой связи представляют значительный интерес высказывания В. С. Алексеева [5], который на основе анализа работ, выполненных в ФРГ по изучению причин заиления железистыми отложениями водозаборных скважин, пришел к выводу, что интенсивность развития железобактерий, а следовательно, и степень заиления зависят от величины окислительно-восстановительного потенциала

(Eh). Во всех случаях, где регистрируется положительная величина Eh, имеет место и максимальное развитие железо- и марганцевых бактерий. Предельные значения Eh, при которых прекращается их развитие, близки к —10 мв. Критерием, более точно определяющим возможность развития железо- и марганцевых бактерий, является показатель давления недиссоциированных водородных ионов в грунтовой воде rH, определяемый по зависимости

$$rH = Eh/0,029 + 2pH.$$

Величина rH, ниже которой железобактерии не развиваются, равна $14,5 \pm 0,8$. Следовательно, предпосылками, обуславливающими ту или иную степень опасности заиления дренажа железистыми соединениями, являются: повышенное содержание закисного железа в грунтовых водах F^{2+} , реакция почвенной среды pH и окислительно-восстановительный потенциал Eh. Однако практика показывает, что неблагоприятное сочетание указанных выше природных факторов далеко не всегда приводит к существенному заохриванию дренажа. Поэтому их можно классифицировать как необходимые условия химического и биологического заиления.

Микробиологические процессы, химические реакции и отложение железистых соединений в полостях труб возможны только при выполнении достаточных условий, к которым в первую очередь относятся: содержание кислорода в дренирующей воде (аэрация) и малые скорости движения воды в трубах. Дело в том, что химические реакции и развитие железобактерий идут при интенсивном потреблении кислорода. Если кислорода недостаточно, то образование железистых соединений прекращается. Правда, сведений о нижних пределах концентрации кислорода, необходимого для развития железобактерий, не имеется. Многие исследователи отмечают только, что при затоплении устьев коллекторов и дрен степень заохривания полостей труб резко уменьшается. С другой стороны, отложение железистых соединений в полостях труб, как показывают многочисленные исследования, наблюдаются при скоростях движения воды менее 0,3—0,4 м/с. При больших скоростях происходит самоочистка труб от железистого наилка потоком воды и дренаж практически не заиляется.

В общем виде интенсивность отложения наилка железистых соединений в трубах (степень заохривания дре-

нажа) может быть выражена следующей функциональной зависимостью:

$$\lambda = f(\text{Fe}^{2+}, \text{pH}, \text{Eh}, \text{гН}, \text{O}_2, R, v, h_{\text{п}}),$$

где $\lambda = \frac{dP}{dt}$ — интенсивность образования наилка;

P — вес (объем) отложившихся в трубах железистых соединений;

t — время;

O_2 — содержание кислорода;

R — концентрация ионов тяжелых металлов;

$h_{\text{п}}$ — степень затопления устьев;

v — скорости движения воды в трубах,

$$v = f(i, D_{\text{вп}}, q);$$

i — уклон дренажных линий;

q — дренажный сток.

Таким образом, причиной заиления дренажа железистыми соединениями является сочетание целого комплекса природных и искусственных факторов. Только изучив влияние каждого из них в отдельности и в сочетании, можно получить надежные рекомендации по классификации почвогрунтов по опасности заохривания дренажа и способом защиты его от химико-биологического заиления.

Фундаментальных исследований, охватывающих одновременно влияние всей совокупности приведенных выше факторов на степень заохривания дренажа, пока нет. Нет и критериев, позволяющих установить предельные значения отдельных факторов, при которых практически исключается опасность заиления дренажа железистыми соединениями. Эксперименты, в которых изучалось влияние одного-двух факторов на степень заиления в отрыве от всей их комплексности, не являются убедительными и не могут служить основой для выработки надежных мер защиты.

Анализ литературных данных и имеющийся практический опыт позволяют предложить следующие ориентировочные критерии, при выполнении которых заохривание дренажа наиболее вероятно:

$$\text{Fe}^{+2} > 3 \text{ мг/л},$$

$$5,2 < \text{pH} < 7,4,$$

$$\text{Eh} > -10 \text{ мВ},$$

$$\text{гН} > 14,5,$$

$$\begin{aligned}i &< 0,004, \\v &< 0,3 \text{ м/с}, \\h_{\text{п}} &= 0.\end{aligned}$$

Однако для окончательного решения этой важной проблемы необходимы еще обширные комплексные исследования в течение длительного периода.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАКИСНОГО ЖЕЛЕЗА В ГРУНТОВЫХ ВОДАХ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для практики проектирования закрытого дренажа необходимо прежде всего знать концентрацию закисного железа Fe^{2+} в грунтовых водах, так как она является одним из решающих факторов, влияющих на степень заохривания. На переувлажненных дерново-подзолистых почвах в гумусовом горизонте на площади 1 га содержание F_2O_3 исчисляется многими тоннами [26] и, казалось бы, опасность заохривания дренажа всегда значительна. Однако растворимость нормальных солей трехвалентного железа невелика. По данным И. П. Сердобольского [26], она зависит от кислотности среды и составляет: при $\text{pH } 4 - 7 \cdot 10^{-7}$; $\text{pH } 5 - 7 \cdot 10^{-10}$ и $\text{pH } 6 - 7 \cdot 10^{-13}$ моля на 1 л. В связи с этим появление подвижного закисного железа в значительных количествах считается возможным лишь в сильноокислом интервале pH . Существует [3] устойчивая взаимосвязь между содержанием закисного железа Fe^{2+} , окислительно-восстановительным потенциалом Eh и реакцией среды pH , которая может быть выражена следующим уравнением:

$$\text{Fe}^{2+} = 6981 \exp (17,93 - 16,95Eh - 3\text{pH}) \text{ мг/л.}$$

Ф. Р. Зайдельманом [15] установлено, что содержание закисного железа тесно связано с морфогенетическими свойствами минеральных почв (табл. 22) и что рудяковые горизонты в осушаемых почвах служат безусловным индикатором возможности заиления закрытого дренажа железистыми соединениями. В минеральных и торфяно-глеевых почвах в зависимости от их свойств содержание закисного железа может резко изменяться по площади (от 1 до 100 мг/л на одном гектаре).

Нашими исследованиями на ряде осушенных болот в БССР установлено, что содержание Fe^{2+} в торфе тоже рез-

**Связь содержания Fe^{2+} с типами почв
Окско-Мещерского Полесья**

Почвы	Степень минерализации грунтовых вод	Содержа- ние Fe^{2+} , мг/л
Ортзандовые дерново-подзоли- стые неоглеевые, глубокоог- леенные, глееватые и глеевые песчано-супесчаные	Пресные	< 3
Ортзандовые дерново-подзоли- стые глеевые супесчано-сугли- нистые	Слабоминерализованные	3—5
Мощные ортзандовые и оруде- тельные дерново-подзолистые гле- евые и дерново-глеевые	Среднеминерализован- ные	15—25
Преимущественно дерновые оруденные	Сильноминерализован- ные	25—100
Рудяковые глеевые	Высокоминерализованные	> 100

ко изменяется по площади и не стабильно по времени. В качестве примера на рис. 35 приведена динамика изменения содержания закисного железа в грунтовых водах на площади 1,12 га объекта «Зеленый луг». В целом по объекту отмечено резкое изменение по площади концентрации Fe^{2+} и увеличение ее в весенний и осенний период по сравнению с летним.

Так как величина pH более или менее стабильна по площади и во времени, а содержание закисного железа сильно изменчиво, из приведенного выше уравнения вытекает, что и величина окислительно-восстановительного потенциала также должна варьировать в широких пределах.

В предыдущем параграфе указывалось, что содержание Fe^{2+} , Eh и pH является определяющим необходимым условием заохривания дренажа. В свете вышеизложенного вызывают недоумение приводимые во многих работах данные по содержанию закисного железа в грунтовых водах на том или ином осушаемом объекте одной цифрой, например $\text{Fe}^{2+} = 5$ мг/л, и только на этой основе сделанные выводы о степени опасности заохривания дренажа. С другой стороны, встает вопрос о необходимой детальности и времени проведения изысканий с целью установления степени опасности заилления железистыми соединениями.

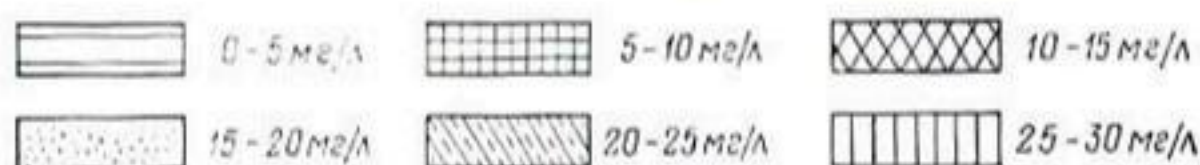
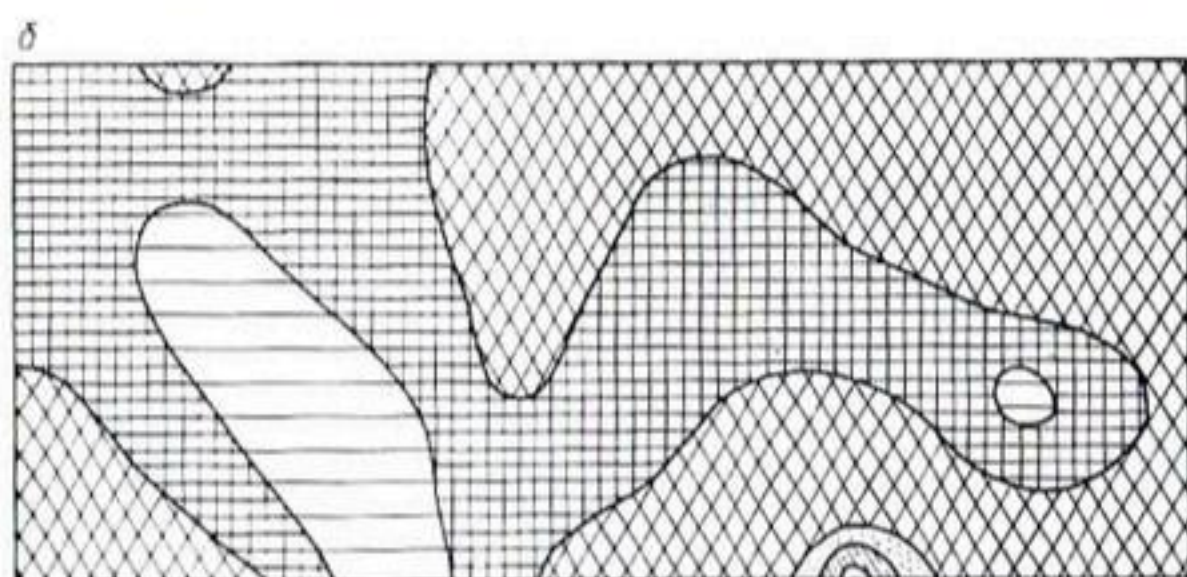
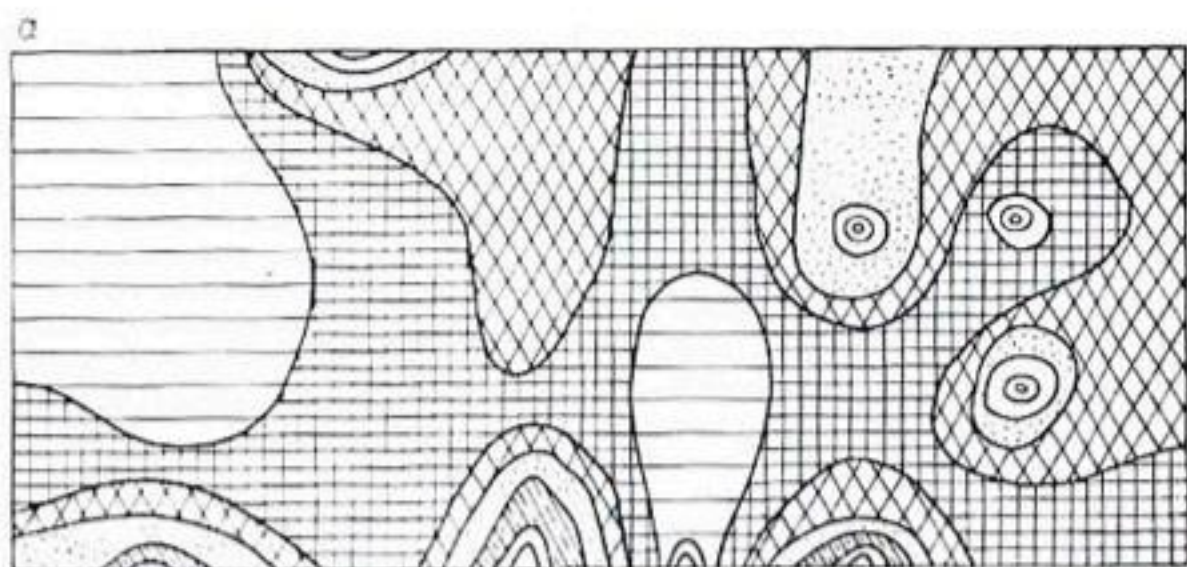


Рис. 35. Динамика концентрации закисного железа Fe^{2+} в грунтовых водах (объект «Зеленый луг»):
a — сентябрь 1973 г.; *b* — август 1974 г.

Ответа на него пока нет. Предстоит еще изучить закономерности распределения и динамику Fe^{2+} и Eh на мелиоративных объектах и на основе вероятностных методов найти оптимальные с технической и экономической сторон объемы и методы изысканий, а также время их проведения.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ Fe^{2+} , Eh И pH

В связи с тем, что водорастворимые соединения железа, подвергаясь окислению, изменяют свой состав, отбор грунтовых вод для определения содержания Fe^{2+} прово-

дится с соблюдением мер предосторожности по предотвращению попадания в пробы кислорода. При этом пользуются довольно трудоемкой, дорогой и мало пригодной для полевых определений методикой А. П. Маслякова.

Исходя из предпосылки, что в подземных водах взаимодействие двухвалентного железа с кислородом воздуха крайне ограничено, а окисление с образованием тонкой пленки гидроокиси железа происходит только на их поверхности, нами опробирована упрощенная методика отбора проб. Суть ее заключается в следующем. Лопастным буром $D \geq 15$ см проходят скважину глубиной 1,5—2,0 м, закрывают ее листом фанеры и обкладывают дерном. Через 10—20 мин скважину открывают и набирают пробоотборником порцию грунтовой воды в склянки со стабилизирующим буферным раствором. Содержание Fe^{2+} определяется по стандартной методике [4] с α' — α' дипиридилем и предварительной стабилизацией проб воды ацетатным буферным раствором. Результаты анализов проб, взятых по Маслякову и по упрощенной методике, оказались практически идентичными (табл. 23). Это обстоятельство дает основание рекомендовать упрощенную методику для практического применения. Пользование ею значительно облегчит и ускорит отбор проб почвенно-грунтовых вод, а следовательно, и определение концентрации закисного железа.

Таблица 23

Концентрация Fe^{2+} (мг/л) в пробах воды, взятых различными методами (2/X 1975 г., объект «Красный луч»)

Номер скважины	По А. П. Маслякову		По упрощенной методике	
2	32,5	32,75	32,5	32,5
6	2,25	2,5	2,75	2,25
30	4,5	4,25	4,5	5,0
17	25,0	25,0	25,75	25,5
21	9,75	9,75	9,75	9,5

Во многих случаях определение закисного железа в грунтовых водах колориметрическими методами сразу же после отбора проб невозможно из-за наличия взвесей и окрашивания грунтовых вод. В связи с этим было уста-

новлено предельно допустимое после взятия проб время проведения анализов на содержание закисного железа в стабилизированных ацетатным буферным раствором грунтовых водах. Результаты анализов приведены в табл. 24.

Таблица 24

**Изменение концентрации Fe^{2+} в пробах воды
(10/VII 1973 г., объект «Заречье»)**

В полевых условиях (без буфера, сразу после отбора)	Содержание Fe^{2+} , мг/л			
	В лабораторных условиях (с буфером)			
	через 24 ч	через 48 ч	через 72 ч	через 96 ч
18	20	17	18	13
23	25	24	25	19,25
25	23	24	25	18,75
8	8	7	8	4,5
15	15	14	14	10,5
14	14	13,5	15	10
24	25	24	23	19

Из таблицы следует, что при стабилизации проб воды ацетатным буферным раствором содержание закисного железа практически не меняется в течение 72 ч. Это обстоятельство позволяет транспортировать пробы с отдаленных объектов и производить качественные анализы в лабораторных условиях.

Определение pH почвенно-грунтовых вод можно осуществить двумя способами: колориметрическим и потенциометрическим. Первый основан на изменении окраски индикатора с изменением pH среды. В связи с тем, что колориметрический метод может давать значительные ошибки, он применяется редко и заменен потенциометрическим. Техника определения pH с помощью потенциометров описана во многих руководствах по агрохимическим исследованиям почв [3, 4].

Определение окислительно-восстановительного потенциала Eh, так же как и pH, можно производить двумя методами: колориметрическим и потенциометрическим. Однако вследствие больших погрешностей колориметрического способа в настоящее время он практически не применяется. Методика определения Eh в лабораторных условиях приводится в руководствах по агрохимическому

исследованию почв; что же касается полевых определений ОВП, то наиболее подходящими приборами для этих целей являются ЭСК-1 и АЭ-72 с использованием платинированных электродов [17]. Эти приборы обладают высокой чувствительностью и широко применяются при геофизических исследованиях.

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ЗАИЛЕНИЕМ ДРЕНАЖА ЖЕЛЕЗИСТЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

В общем случае заохривание дренажа выражается в частичной или полной закупорке полостей труб, кольматации их водоприемных отверстий, защитных фильтров и придренной зоны грунта. Правда, публикаций о степени кольматации придренной зоны и влиянии ее на осушительное действие дренажа нет, и этот вопрос остается пока неисследованным. Меры борьбы с заохриванием должны быть направлены на предотвращение всех указанных отрицательных последствий, ибо каждое из них может оказать решающее воздействие на уменьшение осушительного эффекта дренажа.

Существуют различные методы и способы борьбы с заилением дренажа железистыми соединениями. При этом под терминами «метод» понимается целевая направленность проводимого мероприятия, «способ» — техническое средство достижения цели. В мелноративной практике известны следующие методы борьбы с заохриванием дренажа:

- уменьшение содержания закисного железа в грунтовых водах;

- угнетение процессов жизнедеятельности железобактерий;

- поддержание железа в закисной форме в дренированной воде до выноса его из дрен;

- обеспечение условий транспортирования образующегося осадка за пределы дренажа (его самоочистку);

- предотвращение кольматации водоприемных отверстий и защитных фильтров;

- очистка залившегося дренажа.

Последний метод относится к эксплуатационным мероприятиям, остальные — к проектно-строительным.

Известно, что основное условие перехода закисного железа в окисное с образованием малоподвижного осадка

$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ — присутствие необходимого количества кислорода. Кроме того, с одной стороны, содержание Fe^{2+} в грунтовых водах пропорционально кислотности среды, а с другой — чем ниже показатель pH при одном и том же содержании Fe^{2+} , тем больше вероятность заохривания дренажа (см. табл. 21). Поэтому для уменьшения содержания закисного железа в грунтовых водах осушаемых объектов необходимо увеличить содержание кислорода в почве и уменьшить кислотность. Для этого существуют следующие способы:

- аэрирование (обогащение грунтовых вод воздухом путем глубокого рыхления, глубокой вспашки, кротования, щелевания и т. п.);

- известкование почв с последующей заделкой при вспашке на глубину 30—40 см или внесение извести на глубину 0,6—0,9 м при глубоком рыхлении;

- предварительное осушение открытой сетью каналов на сильно ожелезненных участках;

- устройство нагорно-ловчих каналов для перехвата поверхностных и грунтовых вод с высоким содержанием растворенных соединений железа, поступающих со смежных территорий.

Железобактерии — аэробы, кроме того, они плохо развиваются при наличии в почве ионов тяжелых металлов и некоторых ароматических веществ. Поэтому угнетение процесса жизнедеятельности железобактерий осуществляется следующими способами:

- предотвращением поступления воздуха в трубы путем затопления устьев коллекторов и дрен;

- внесением в дренажную присыпку соединений, содержащих медь;

- добавлением в состав фильтров материалов, содержащих дубильные или смолистые вещества (ветки сосны и ели, опилки мимозы [64], вереск и др.).

При устройстве затопленных устьев нельзя допускать подпора дренажных систем, ибо скорости движения воды в трубах резко упадут, уменьшится также осушительное действие дренажа.

Устья следует располагать выше бытового горизонта воды в каналах, а сливную часть устраивать в виде колена, запуская свободный конец его под урез воды в открытом водотоке.

По исследованиям Г. А. Надсона, угнетающее действие металлов на железобактерии тем сильнее, чем выше

их атомный вес. Чаще всего на практике используют пиритный огарок и медную проволоку.

К способам борьбы с окислением закисного железа в дренажных трубах следует отнести затопление дренажных устьев и внесение в траншейную засыпку химически активных веществ — ингибиторов. К ним относятся: известь, фосфоритная мука, смесь извести с гипсом в соотношении 2 : 1 и др. В сильно кислых торфах эффективнее смесь извести с гипсом, в минеральных грунтах — известь [52]. Ингибиторы вносятся в траншеи после предварительной присыпки дрен гумусным грунтом из расчета 1—2 кг на пог. м.

Радикальным способом борьбы с отложением железистых соединений в трубах является создание необходимых скоростей движения в них воды. Исследования показывают, что при $V \geq 0,3—0,4$ м/с происходит самоочистка труб от наилка. Для обеспечения таких скоростей уклоны дренажных линий должны быть более 0,004—0,005. При этом очень важно не допускать образования обратных уклонов дренажных линий на отдельных, пусть даже коротких участках. Исследования показывают, что закупорка дренажных труб отложениями железа, как правило, приурочена к местам прогиба дренажных линий и особенно часто встречается в узлах подсоединения дрен к коллекторам. Во многих случаях заиленными оказываются первые от коллектора 1,5—2 м дрены. Обусловлено это повышенной аэрацией воды в устьевой части дрен и обратным уклоном первых 1—2 керамических труб вследствие просадки насыпного грунта под ними. Поэтому грунт под трубами в местах подсоединения дрен к коллекторам следует утрамбовывать. Подсоединение дрен к коллектору лучше производить впритык, а не сверху. В грунтах с высоким содержанием железа предпочтительно устраивать более простые дренажные системы с коллекторами не выше первого-второго порядка.

К способам, способствующим предотвращению кольматации водоприемных отверстий труб и защитных от механического заиления фильтров, относятся:

- увеличение размеров стыковых зазоров и перфораций;
- применение объемных фильтров из инертных, хорошо фильтрующих материалов (песчано-гравийная смесь, малоразложившийся фрезерный торф, торфокрошка, льняная костра, солома и т. п.);
- внесение ингибиторов в траншейную засыпку;

применение пластмассовых труб с заводским объемным фильтром, устойчивым против заохривания.

Часто рекомендуется для уменьшения влияния заохривания на работоспособность дренажа в сильно зажелезненных грунтах увеличивать диаметры труб на один порядок, уменьшать междренные расстояния на 5—20%, устраивать на коллекторах отстойные колодцы и закольцованные системы, позволяющие осуществлять периодические промывки дрен путем пуска воды через истоки и др. Однако все эти мероприятия, если не применять специальных мер защиты от заохривания, могут оказаться малоэффективными. К примеру, при кольматации фильтров и водоприемных отверстий труб ни один из вышеуказанных приемов не дает существенной пользы.

Известны публикации [52, 28], в которых подчеркивается бóльшая степень опасности заохривания пластмассового дренажа по сравнению с гончарным. Наши исследования в Белоруссии, где пластмассовый дренаж уложен на площади более 40 тыс. га, в том числе и на объектах с высоким содержанием закисного железа, не подтверждают данного положения. Характер и степень заиления железистыми соединениями пластмассового и гончарного дренажа примерно идентичны.

И в заключение рассмотрим основные способы эксплуатационных мероприятий, направленные на предупреждение заиления и очистку (восстановление работоспособности) заиленного железистыми соединениями горизонтального трубчатого дренажа. Наибольшее распространение получили способы гидравлической промывки. Для этого используются специальные дренопромывочные машины (Д-910) или создаются повышенные скорости движения воды в трубах. Х. А. Ярвела [57] рекомендует, например, периодически создавать подпор дренажных систем со стороны открытых каналов и резко его сбрасывать (импульсная промывка). В случае закольцованных дренажных систем рекомендуется [16] 1—2 раза в год подавать воду при повышенных напорах со стороны истоков дрен.

Механическая очистка дрен от железистого наила с помощью ершей, щеток и т. п. в настоящее время практически не применяется. Не получили пока развития и способы химической очистки путем промывки кислотой или продувки дрен газом. Нужно подчеркнуть, что очистка заилившегося дренажа — мероприятие весьма трудоемкое

и дорогостоящее. Поэтому лучше предусматривать в проектах специальные надежные меры защиты дренажа от заиления железистыми соединениями. Одним из непременных условий должно быть высокое качество строительства.

Ввиду слабой изученности сущности процессов химического и микробиологического заиления трубчатого дренажа, наличия противоречивых мнений и предложений и недостаточности практического опыта, выработать на данном этапе конкретные действенные предложения, гарантирующие большую надежность защитных мероприятий при приемлемой стоимости, не представляется возможным. В приложении 6 дана ориентировочная схема способов борьбы с заохриванием дренажа, составленная на основе литературных материалов [15, 28, 48, 52, 54, 63] и собственных исследований авторов.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Трубы керамические дренажные (ГОСТ 8411—74)

Внутренний диаметр $D_{\text{вн}}$, мм	Наружный (расчетный) D , м	Толщина стенки δ , м	Длина труб S_1 , м	Примечание
50	0,072	11	0,333	Трубы $D_{\text{вн}} = 100—250$ мм допускается изготавливать длиной $S_1 = 0,5$ м
75	0,101	13		
100	0,130	15		
125	0,161	18		
150	0,190	20		
175	0,219	22		
200	0,248	24		
250	0,300	25		

Приложение 2

Гофрированные дренажные трубы из полиэтилена высокой плотности (ТУ 6-0,5-1078-72)

Наружный диаметр труб D , мм	Толщина стенки, мм	Размер профиля гофра, мм		Водоприемные отверстия		
		шаг	высота	диаметр d_0 , мм	количество отверстий на 1 пог. м	площадь $\text{см}^2/\text{пог. м}$
50(тип 1)	$0,8 \pm 0,3$	6,0	$3,0 \pm 0,6$	$1,6 \pm 0,3$	1000	20
50(тип 2)	$0,8 \pm 0,3$	4,6	$3,8 \pm 0,6$	$1,6 \pm 0,3$	650	9
63(тип 1)	$0,9 \pm 0,3$	8,0	$3,8 \pm 0,7$	$1,6 \pm 0,3$	750	15
75(тип 1)	$1,0 \pm 0,4$	9,0	$4,4 \pm 0,8$	$1,6 \pm 0,3$	666	14
80(тип 2)	$1,1 \pm 0,4$	12,0	$5,1 \pm 0,7$	$1,6 \pm 0,3$	250	4
90(тип 1)	$1,2 \pm 0,4$	11,0	$5,4 \pm 0,9$	$1,6 \pm 0,3$	546	11
100(тип 2)	$1,3 \pm 0,5$	7,0	$5,3 \pm 0,8$	$1,6 \pm 0,3$	430	6
110(тип 1)	$1,4 \pm 0,5$	14,0	$6,8 \pm 1,0$	$1,6 \pm 1,0$	426	9
125(тип 1)	$1,6 \pm 0,5$	16,0	$7,8 \pm 1,2$	$1,6 \pm 0,3$	372	8
125(тип 2)	$1,5 \pm 0,5$	8,0	$5,5 \pm 0,8$	$1,6 \pm 0,3$	370	5

Теоретический вес пог. м, кг	Длина трубы в бухте, м	Размеры бухт, м		Вес бухты, кг
		внутренний диаметр	ширина	
0,19	200 $\pm$ 0,5	1,0 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,05	38,0
0,16	200 $\pm$ 0,5	1,0 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,05	32,0
0,26	160 $\pm$ 0,5	1,1 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,05	41,6
0,36	120 $\pm$ 0,5	1,2 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,05	43,2
0,35	—	—	—	—
0,50	100 $\pm$ 0,5	1,3 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,05	50,0
0,46	—	—	—	—
0,72	70 $\pm$ 0,5	1,5 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,05	50,4
0,91	60 $\pm$ 0,5	1,6 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,05	54,6
0,70	—	—	—	—

Приложение 3

**Гладкостенные дренажные трубы из полиэтилена высокой
плотности (по проекту МРТУ 6-05-917-68 м)**

Диаметр, мм		Толщина стенки δ , мм	Размеры продольно- параллельных щелей, мм			Вес 1 пог. м трубы, кг	Длина труб в бух- тах (отрезке), м	Число рядов перфо- раций, n	Количество отверс- тий на 1 пог. м N	Водопрямая пло- щадь F, см ² /1 пог. м
наруж- ный D	внут- ренний D _p		ширина b	длина l	шаг S					
40	37,2	1,4 $\pm$ 0,4	0,8	20	60	0,21	200	6	100	14
50	47,0	1,5 $\pm$ 0,4	0,8	20	60	0,25	5	6	100	14
63	59,6	1,7 $\pm$ 0,4	0,8	20	60	0,38	5	6	100	14
75	71,0	2,0 $\pm$ 0,5	0,8	20	60	0,49	5	6	100	14
90	85,6	2,2 $\pm$ 0,6	0,8	20	60	0,63	5	6	100	14
110	104,6	2,7 $\pm$ 0,8	0,8	20	60	0,97	5	6	100	14
125	119,0	3,0 $\pm$ 0,8	0,8	20	60	1,27	5	6	100	14
140	133,0	3,5 $\pm$ 0,9	0,8	20	60	1,58	5	6	100	14

Параметры защитных фильтрационных материалов для мелиоративного дренажа (осредненные данные)

Наименование материала (изделия)	Толщина фильтра δ , мм		Коэффициент фильтрации $k_{\text{ф}}$, м/сут		
	исходная	после уплотнения (расчетная)	исходный		принимаемый в расчетах после уплотнения и кольматации
			поперечный	продольный	
Стекловолокнистый холст ВВ-Г (МРТУ 6-11-3-64)	$0,4 \pm 0,1$	0,4	350—1200	100—120	10—20
Стекловолокнистый холст ВВ-Т (МРТУ 6-11-13-64)	$0,8 \pm 0,3$	0,8	350—1200	100—120	15—30
Стекловолокнистый холст ВВ-К (ТУ 21-23-3-68)	$0,6 \pm 0,2$	0,6	350—1200	100—120	15—25
Маты полужесткие стеклянные для строительства (ГОСТ 10499—67)	40; 50; 60	10—15	70—150	70—150	15—20
Плиты полужесткие стеклянные для строительства (ГОСТ 10499—67)	40; 50	10—12	70—150	70—150	15—20
Маты прошивные из штапельного базальтового волокна (ТУ 33-УССР-1-72)	75	20—25	70—150	70—150	15—20
Войлок из штапельного базальтового волокна (ТУ 611-215-71)	50	11—13	70—150	70—150	15—20
ПЭ-холст	1—2	1—1,5	300—1200	100—250	20—30
Песчано-гравийные смеси	—	—	20—60	20—60	10—30
Мох сфагнум	—	—	0,3—1,5	0,3—1,5	0,2—0,3

Примечание. Данные по песчано-гравийным смесям ориентировочные, $k_{\text{ф}}$ определяется экспериментально или вычисляется по гранулометрическому составу с введением коэффициента на кольматацию.

Подбор фильтров производится при обязательном соблюдении следующих соотношений:

$$\frac{k_{\text{ф}}}{k_{\text{гр}}} \geq 5; \quad \text{для торфяных грунтов} \quad \frac{k_{\text{ф}}}{k_{\text{гр}}} \geq 10; \quad \text{для глинистых грунтов} \quad \frac{k_{\text{ф}}}{k_{\text{гр}}} \geq 20.$$

Ориентировочная стоимость защитных фильтрующих материалов

Материал	Схема защиты	Единица измерения	Стоимость единицы материала, руб	Количество материала на 1 пог. м	Стоимость материала на 1 пог. м, коп.
Стеклохолст	Круговая защита стыка полоской стеклохолста шириной 10 см	м ²	0,135—1,143	0,09	1,2—1,4
	Защита низа труб сплошной лентой, а стыков—сверху полоской из стеклохолста	»	0,135—1,153	0,175	2,35—2,7
	Круговая защита всей поверхности труб одной лентой	»	0,135—0,153	0,30	4,0—4,6
Стеклохолст	Круговая защита всей поверхности труб сплошными лентами сверху и снизу	»	0,153	0,35	4,7—5,3
	Защита снизу труб сплошной лентой	»	0,39	0,175	7,0
	Круговая защита всей трубы одной лентой	»	0,39	0,30	11,6
Стеклоткань	Круговая защита всей поверхности труб сплошными лентами сверху и снизу	»	0,39	0,35	13,5
	Защита стыков по всему периметру	»	7,4	0,004	2,9
Минеральная вата	Защита дрен сверху и сбоку слоем 12—15 см при укладке дрен на слой торфа 3—5 см	м ³	1,01	0,08	8,1
	Круговая защита стыков дрен	»	5,7	0,005	2,8
Фрезерный торф	Круговая защита дрен гравием по всей длине слоем 20 см. Засыпка бульдозером с перемешиванием до 5 м	»	5,9—8,8	0,05	59,0—88,0 (траншеи шириной 0,5 м)
	Круговая защита дрен песчаной смесью слоем 20 см по всей длине дрен. Засыпка вручную	»	4,6—5,5	0,1	29,5—44 (траншеи шириной 0,5 м)

Материал	Схема защиты	Единица измерения	Стоимость единицы материала, руб.	Количество материала на 1 пог. м	Стоимость материала на 1 пог. м, коп.
				0,05	0,25 м) 46,0—55,0 (траншея шириной 0,5 м) 23,0—27,5 (траншея шириной 0,25 м)

Примечания: 1. Объем подсчитан для труб диаметром 5 см.
 2. В стоимость не включены транспортные затраты.
 3. Пределы даны в зависимости от территориального района.

Способы защиты дренажа от заиливания железистыми соединениями

Максимальное содержание железа в грунтовых водах, мг/л	pH	Характер и степень заиливания	Способы защиты от заиливания
<3 3—6 6—10	3,5—6,5 4,7—7,4	Тонкая пленка гидроокиси на стенках труб и поверхности воды Небольшой слой осадка в пониженных дренажных линиях и на стенках труб, пятнообразный налет на фильтрах	Специальных мер защиты не требуется 1. Повышенные уклоны дрен ($i \geq 0,004$; $v > 0,35$ м/с). 2. Фильтры из стеклохолста и других инертных материалов
	4,3—7,2	Заметный слой осадка в понижениях, частичное заиливание устьевых участков дрен, частичная кольматация водоприемных отверстий и фильтров	1. Повышенные уклоны дрен ($i \geq 0,004—0,005$; $v \geq 0,35—0,40$ м/с). 2. Фильтры из стеклохолста и других инертных материалов.
	4,3—7,7	Частичная и полная закупорка труб в понижениях и местах подсоединения дрен к коллекторам, существенная кольматация водоприемных отверстий и фильтров	3. Внесение ингибиторов в засыпку (1 кг/пог. м). 4. Глубокое рыхление почвы. 5. Увеличение размеров отверстий в трубах 1. Известкование почв (3—5 ц/га) с заправкой на глубину 0,3—0,4 м 2. Глубокое рыхление или кротование. 3. Внесение ингибиторов в засыпку (1—2 кг/пог. м). 4. Устройство затопленных устьев. 5. $i \geq 0,005$; $v \geq 0,4$ м/с. 6. Фильтры из песчано-гравийной смеси, стеклохолста, льняной кистей, соломы, торфокрошки
>10			

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов С. К.* Проект инструкции по подбору и расчету фильтров буровых скважин. ВодГЕО, 1947.
2. *Аверьянов С. Ф.* О расчете осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания.— Научные записки МИИВХ, 1966, т. 22.
3. *Агрохимические методы исследования почв.* Изд. 5. М., «Наука», 1975.
4. *Агрохимические методы исследования почв.* Изд. 4. М., «Наука», 1965.
5. *Алексеев В. С.* Биологический кольматаж скважин.— «Гидротехника и мелиорация», 1975, № 4.
6. *Бочевер Ф. М.* и др. Основы гидрогеологических расчетов. М., «Недра», 1969.
7. *Бочевер Ф. М.* Типизация гидрогеологических условий для целей расчета эксплуатационных запасов подземных вод.— «Советская геология», 1958, № 9.
8. *Буртыс Ю. Ф.* Исследования устойчивости пригруженных песчаных грунтов Белорусского Полесья в восходящем фильтрационном потоке.— В сб.: «Осушение и сельскохозяйственное освоение торфяных почв». Мн., «Ураджай», 1965.
9. *Ведерников В. В.* Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. М.— Л., Гостройиздат, 1939.
10. *Великанов М. И.* Движение наносов. М., 1948.
11. *Временные технические указания по проектированию закрытых осушительных систем.* М., Изд-во МСХ РСФСР, 1963.
12. *Временные технические указания по проектированию фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов в дренажах мелиоративных систем и гидротехнических сооружений.* Киев, Укроргводстрой, 1968.
13. *Гончаров В. Н.* Динамика русловых потоков. Л., Гидрометеиздат, 1962.
14. *Жагарис П. В.* Движение наносов в гончарных трубках.— В сб.: «Гидротехника, мелиорация и использование осушенных земель». Мн. БелНИИМнВХ, 1968.

15. *Зайдельман Ф. Р.* Режим и условия мелиорации заболоченных почв. М., «Колос», 1975.
16. *Зубец В. М., Вакар А. Е.* Очистка закрытых осушительно-увлажнительных систем от заиления. Минск, «Полымя», 1975.
17. *Инишева Л. И.* Окислительно-восстановительные условия пойменных почв р. Томи при орошении.— Тезисы докладов I научно-технической конференции «Повышение эффективности использования мелиорируемых земель в Сибири». Красноярск, 1976.
18. *Истомина В. С.* Фильтрационная устойчивость грунтов. М., Изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1957.
19. *Истомина В. С., Бурякова В. В., Мишурова Г. В.* Фильтрационная прочность глинистых грунтов. М., Стройиздат, 1975.
20. Инструкция по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. М.—Л., Госэнергоиздат, 1957.
21. Инструкция по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. М.—Л., «Энергия», 1965.
22. *Караушев А. В.* Проблемы движения естественных водных потоков. Л., Гидрометеиздат, 1960.
23. *Климков В. Т., Мурашко А. И.* Водозахватная способность пластмассового дренажа.— Сб.: «Материалы для водохозяйственного строительства». Экспресс-информация, ЦБНТИ по водному хозяйству, вып. 6, 1968, № 1.
24. *Кнороз В. С.* О деформациях дна и влиянии их на гидравлический режим потока.— Труды III Всесоюзного гидрелогического съезда, т. V, 1960.
25. *Кондратьев В. Н.* Фильтрация и механическая суффозия в несвязных грунтах. Симферополь, Крымиздат, 1958.
26. *Корнилов М. Ф.* и др. Известкование кислых почв нечерноземной полосы СССР. М., «Колос», 1970.
27. *Малишаускас А. Д.* Влияние некоторых способов защиты и засыпки гончарного дренажа на его действие в аллювиально-болотных почвах.— Гидротехника и мелиорация торфяных почв. Часть III. Мн., БелНИИМнВХ, 1969.
28. *Маслов Б. С.* Заиление дренажей железистыми соединениями: природа и способы борьбы.— «Гидротехника и мелиорация», 1972, № 10.
29. *Маслов Б. С., Баранова С. Д., Наумович Е. И., Светличная З. Я.* Способы борьбы с заилением дренажей железистыми соединениями. М., ВНИИГиМ, 1975.
30. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. Вып. I—III. М., 1972.

31. Методические указания по расчетам дренажа из новых материалов. Мн., БелНИИМиВХ, 1975.
32. *Мурашко А. И.* Пластмассовый дренаж. Мн., «Ураджай», 1969.
33. *Мурашко А. И., Сапожников Е. Г.* Способы защиты горизонтального трубчатого дренажа от заиления.— Экспресс-информация, ЦБНТИ по мелиорации и водному хозяйству, серия 2, вып. 4, 1969.
34. *Мурашко А. И.* Кольматаж — враг дренажа.— «Сельское хозяйство Белоруссии», 1970, № 7.
35. *Мурашко А. И.* Горизонтальный пластмассовый дренаж. Мн., «Ураджай», 1973.
36. *Мурашко А. И., Сапожников Е. Г.* Фильтрационные расчеты горизонтального трубчатого дренажа.— В сб.: «Конструкции и расчеты осушительно-увлажнительных систем», вып. 2. Мн., БелНИИМиВХ, 1976.
37. *Олейник А. Я., Носиковский В. П.* Методы расчета мелиоративного дренажа в неоднородно-слоистых средах (пособие для расчета). Киев, «Урожай», 1970.
38. *Павич М. П.* Способ определения несuffозных гранулометрических составов грунтов.— Известия ВНИИГ, т. 68. М., Госэнергоиздат, 1961.
39. *Палюлис В. И.* Исследование эффективности различных способов защиты пластмассовых и гончарных дрен от заиления в пылеватых грунтах.— Сборник сокращенных докладов XII научной конференции ЛитНИИГиМ. Вильнюс, 1971.
40. *Патрашев А. Н.* Напорное движение грунтовых вод, сопровождающееся выносом мелких частиц грунта.— Известия ВНИИГ, т. 22, 1938.
41. *Патрашев А. Н.* Методика подбора гранулометрического состава грунта обратных фильтров.— Сб. трудов Ленгипроречтранс. Л., 1957.
42. *Патрашев А. Н., Праведный Т. Х.* Проект инструкции по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
43. *Полубаринова-Кочина П. Я.* Теория движения грунтовых вод. М., Гос. изд-во техн.-теор. лит., 1952.
44. Проект инструкции по проектированию защиты от заиления мелиоративного дренажа. Ленгипроводхоз, 1969.
45. Проектирование защиты закрытого дренажа от механического заиления в минеральных грунтах (рекомендации). Л., Ленуприздат, 1973.

46. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР. М., «Наука», 1969.
47. Рахно Р. Х. Сезонная динамика почвенных бактерий. Изд. АН ЭССР. Таллин, 1964.
48. Рекомендации по защите закрытого дренажа от заиления. М., Россельхозиздат, 1975.
49. Сапожников Е. Г. Некоторые вопросы защиты пластмассового дренажа от заиления. Гипроводхоз ЦБНТИ.— Экспресс-информация: «Материалы для водохозяйственного строительства», серия 2, вып. 6. М., 1968.
50. Технические условия и нормы проектирования осушительных систем в Белорусской ССР. Под ред. Лубяко Е. И. Минск, Белгипроводхоз, 1970.
51. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. М., «Недра», 1976.
52. Федотова З. Д., Страутиня В. П. Исследования по борьбе с заилением пластмассовых дренажных соединениями железа.— Тезисы докладов научно-технической конференции ЛатНИИГиМ. Елгава, ЛатНИИГиМ, 1971.
53. Хрисанов Н. И. Определение размеров суффозиозного выноса грунта в гончарные дренажи и анализ их заиляемости.— Труды ЛатНИИГиМ, № 9. Елгава, 1969.
54. Хруцкая З. Я. Заиление дренажа железистыми соединениями. М., «Колос», 1970.
55. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. Изд. МГУ. М., 1965.
56. Щуров В. И. Влияние перфорации на приток жидкости из пласта в скважину.— В сб.: «Труды совещания по развитию научно-исследовательских работ в области вторичных методов добычи нефти». Баку, АН АзССР, 1953.
57. Ярвелла Х. А. Способ очистки дренажного трубопровода (авт. св. № 402607. М. кл. E02b 11/00, B 08b 9/06).
58. Cavelaars J. C. Stronung von water naar dreins Tijdschr Koninkl Nederlandsche Neidemat Schappij. 73, 1962.
59. Darrel G. Watts and Janes N. Luthin Hilgardie. Volume 35. Number 3. September 1963.
60. Englund F. Transactions Dan. Acad. Tech. Sciens. 3, 1951.
61. Ferda I. Raselinarstvi v hemecke spolcone republice. Studijni informace UVI. N 8. 1969.
62. Grass L., Willardson L. Highpressure water jet cleaning of subsurface drains. Transactions ASAE. St. Joseph., Mich. 1974, 17.

63. *Kuntze H.* "Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung", 1964, N 3.

64. *Kuntze H., Scheffer B.* "Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung". 1974, 15, 2.

65. *Kuntze H., Eggelsman R.* "Wasser und Boden", 1974, 26, 10.

66. *Layrsen Emnet M.* "Iowa Inst. of Hud. Res. State Univ. of Iowa" Bul. No 5. June, 1956.

67. *Muskat M.* AIME Trans. 151, 175, 1943.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Условия строительства и работы горизонтального трубчатого дренажа	5
Краткая характеристика грунтовых условий	5
Геотехнические характеристики несвязных грунтов	7
Геотехнические характеристики глинистых грунтов	13
Некоторые физико-технические характеристики торфяных грунтов	15
Условия строительства дренажа	15
Условия работы дренажа	16
Причины и виды заиления дренажа	18
Конструкции дренажных труб, схемы укладки фильтров	18
Поступление воды в дрены, градиенты фильтрационного напора	20
Классификация процессов заиления	24
Условия, позволяющие укладывать дренаж без фильтров	27
Самоочистка дренажных труб от наносов	38
Подбор и расчет фильтров горизонтального трубчатого дренажа	44
Требования, предъявляемые к защитным фильтрам	44
Основные характеристики дренажных фильтров	45
Расчет и подбор фильтров в несвязных грунтах	52
Расчет и подбор фильтров в связных грунтах	58
Оценка условий применимости различных фильтрующих материалов	62
Осушительное действие дренажа	68
Влияние фильтров на осушительное действие дренажа	68
Расчет междренних расстояний	73
Методика фильтрационных расчетов дренажа	93
Определение водопроницаемости фильтров	127
Соединительные детали-фильтры для гончарного дренажа	130
Технология защиты дренажа от механического заиления	134
Способы (схемы) защитных мероприятий	134
Технология работ	138
Заиление дренажа железистыми соединениями, методы и способы его предотвращения	141
Причины отложения железистых соединений в дренажных трубах	141
Содержание закисного железа в грунтовых водах мелиоративных объектов	146

Методика определения содержания Fe^{2+} , Eh и pH	148
Методы и способы борьбы с заилением дренажа железистыми соединениями	151
Приложения	156
Литература	162

*Анатолий Иванович Мурашко,
Евгений Григорьевич Сапожников*

Защита дренажа от заиления

Редактор *Т. Н. Мухина*. Художник *Ю. М. Тюрин*. Художественный редактор *А. Н. Еременов*. Технический редактор *А. Н. Хейфец*. Корректор *В. Н. Змитрович*

ИБ 397

Сдано в набор 04.10.77. Подписано к печати 16.05.78. АТ09146. Формат $84 \times 108^{1/32}$. Бумага типогр. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 8,82. Уч.-изд. л. 8,24. Тираж 1600 экз. Заказ 645. Цена 60 к.

Издательство «Ураджай» Государственного комитета Совета Министров БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220000. Минск-4, Парковая магистраль, 11.

Полиграфкомбинат им. Я. Коласа Государственного комитета Совета Министров БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220005, Минск, Красная, 23.