

## ПРОЦЕССЫ ЗАИЛЕНИЯ ДРЕН И ИХ САМООЧИСТКА

**А.И. Митрахович**, кандидат технических наук, доцент

РУП «Институт мелиорации»

г. Минск, Беларусь

**И.Ч. Казьмирук**, кандидат технических наук

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы повышения надежности и эффективности работы горизонтального трубчатого дренажа с учетом факторов, влияющих на процессы заиления. Приведены оптимальные параметры конструктивных элементов, в том числе защитных фильтров, минимизирующие возможность заиления дрен и обеспечивающие условия их самоочистки от механического заиления. Даны рекомендации по способам защиты пластмассового дренажа геотекстильными фильтрами отечественного и импортного производства в зависимости от основных физико-технических характеристик минеральных и торфяных грунтов.

**Ключевые слова:** водоприемная способность, геотекстиль, горизонтальный дренаж, кольматация, мелиорация, осушительная сеть, пористость, смачиваемость материалов, фильтрующая обсыпка

### Abstract

**A.I. Mitrakhovich, I.Ch. Kazmiruk**  
**PROCESS OF DRAIN SILTATION AND ITS SELF-CLEANING**

The article presents how to improve the strength and effectiveness of horizontal tube drainage according to the siltation process. Optimal parameters of construction elements including protective filters which prevent siltation and provide self-cleaning in the case of mechanical siltation are described. Recommendations are given how to protect plastic drainage using both domestic and imported geotextile filters according to main physical and technical characteristics of mineral and peat soils.

**Keywords:** water intake capacity, geotextile, horizontal drainage, colmatation, reclamation, drainage network, porosity, wettability of materials, filtering dusting

### Введение

Проведение осушительных мелиораций в гумидной зоне во многих случаях является необходимым мероприятием для ведения сельскохозяйственного производства. Поддержание требуемого водного режима почв на сельхозугодьях обеспечивается различными приемами, одним из которых является горизонтальный дренаж. Эффективность работы его во многом зависит от конструкции дренажных труб и применяемых защитно-фильтрующих материалов. Фильтры дрен могут подвергаться как механической, так и химической кольматации, которая существенно уменьшает их водоприемную способность. Заиление попавшими в полость труб частицами грунта уменьшает эффективный диаметр и водопроницающую способность дрен. Все вышеперечисленное снижает эффект осушения в целом.

### Причины снижения эффективности работы дренажа

Водоприемные отверстия дренажных труб при отсутствии защитных фильтров находятся в непосредственном соприкосновении с грунтом. При движении воды к ним происходит существенное сужение грунтового потока, увеличение скорости фильтрации и возрастает гидродинамический градиент давления. В околдренной области происходит фильтрационная деформация грунта, обусловленная отслаиванием, контактным размывом или суффозией мелких частиц с истечением грунтовой массы в полость труб через перфорацию и стыки. Может происходить выпор – выдавливание целых масс грунта под действием фильтрационных сил в полость дрены. Результатом этих процессов является заиление дренажа. Наиболее подвержены ему несвязные грунты.

Если размер пор фильтра при укладке дренажа в суффозионных грунтах имеет недостаточную величину, то происходит довольно быстрый кольматация защитно-фильтрующего материала. Устойчивое сводообразование над водоприемным отверстием или защитным фильтром, препятствующее просыпанию и истечению грунтовой массы в полость труб, происходит в том случае, когда в грунте содержится достаточное количество сводообразующих частиц и сам фильтр существенно не кольматировался. Для этого необходимо, чтобы поры фильтра свободно пропускали суффозионные частицы, втягиваемые фильтрационным потоком. Размеры пор структурного фильтра должны иметь определенные границы, соответствующие данным грунтовым условиям. Общее требование к фильтрам – их высокая водопроницаемость. После завершения деформационных процессов в фильтрах и частичной их кольматации должны обеспечиваться условия:

$$K_{\phi} > K_{ep},$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации фильтра, м/сут;  
 $K_{ep}$  – коэффициент фильтрации грунта, м/сут.

При проектировании защиты дренажа от заиливания с применением структурных фильтров в несвязных грунтах необходимо иметь данные о гранулометрическом составе грунта осушаемого объекта. Для расчета рекомендуется принимать мелкую  $d_{min}$  и крупную  $d_{max}$  фракции.

Расчеты по выбору структурных фильтров сводятся к установлению границ размеров его пор [1]. Прежде всего, определяется суффозионность выбранных грунтов. Для этого по их гранулометрическому составу вычисляют максимальные диаметры суффозионных частиц  $d_{ci}^{max}$  по формуле (1).

$$d_{ci}^{max} = 5,48 \sqrt{\nu \frac{K_{ep}}{g \cdot n_i}}, \quad (1)$$

где  $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с при  $t=10$  °С кинематический коэффициент вязкости воды;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> ускорение свободного падения;  $n_i$  – пористость грунта, %.

Суффозия возможна, если

$$d_{ci} < d_{ci}^{max},$$

где  $d_{ci}^{max}$  – максимальный диаметр фильтрационных ходов в песке,  $d_{ci}$  – максимальный диаметр суффозионных частиц.

Если  $d_{ci}^{max} > 1,3d_{min}$ , где  $d_{min}$  – минимальный диаметр частиц в грунте, то он называется суффозионным, т.к. из его толщи при определенных гидродинамических условиях могут выноситься все частицы размером  $d_{ci} \leq 0,77 d_{ci}^{max}$ . Размеры пор фильтра должны обеспечивать устойчивое и быстрое сводообразование из частиц осушаемого грунта, т.е. должно выполняться условие

$$d_{80} \geq 0,55 D_0^{\phi},$$

где  $d_{80}$  – диаметр частиц грунта, меньше которых в грунте содержится 80 % по весу,  $D_0^{\phi}$  – средний диаметр пор, мм. Суффозионные частицы осушаемого грунта должны свободно проходить через поры защитного фильтра, в противном случае фильтр будет кольматироваться. Грунт считается суффозионным, если количество суффозионных частиц  $d_{ci}^{max}$  больше 1 %.

Размеры пор и фильтрационных ходов в фильтрующем материале должны быть в 3-4 раза больше диаметра суффозионных частиц грунта  $d_{ci}^{max}$ , в котором укладывается дренаж, а градиенты напора – меньше критических. Должно быть соблюдено условие некольматируемости:

$$D_0^{\phi} \geq 3,3-4,4 \cdot d_{ci}^{max},$$

Критические градиенты напора  $J_{кр}$  механической суффозии находятся по зависимости А.Н. Патрашева [2]

$$J_{кр} = \varphi_0 d_{ci} \sqrt{\frac{gn}{\nu K_{ep}}}, \quad (2)$$

где  $\varphi_0$  – коэффициент критической скорости, который находится по зависимости  $\varphi_0 = 0,369(\gamma_e - 1)f_x$ ,  
 $f_x$  – приведенный коэффициент трения:  
 $f_x = 0,82 - 1,8n + 0,0062(n-5)$ .

Объемная пористость грунта определяется по формуле:

$$n = 1 - \frac{\gamma_e}{\Delta_e \left(1 + \frac{w}{100}\right)},$$

для песчаных грунтов  $n = (0,45-0,1) \lg \eta$ ,

где  $\gamma_e$  – плотность грунта (вес скелета вместе с весом воды в единице объема), г/см<sup>3</sup>;

$\Delta_e$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$w$  – влажность грунта, %;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 980 \text{ см/сек}^2$ ;  
 $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости воды,  
 $\nu = 1,3 \cdot 10^2 \text{ см}^2/\text{час}$  при  $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $\eta$  – коэффициент разнозернистости грунта.

Для выноса проникших в полость дрен суффозионных частиц грунта диаметром  $d_{ci} \leq 0,1 \text{ мм}$  скорость воды в трубах должна быть  $V_{cp} \geq 0,3-0,5 \text{ м/с}$ . В глинистых грунтах из-за отсутствия суффозии практически не происходит существенного кольматажа даже мелкопористых фильтров.

Фильтр не кольматируется, если выполняется следующее условие (по данным Патрашева А.Н.):

$$D_{0,1} \geq 1,1a_* \cdot d_{ci}, \quad (3)$$

где  $D_{0,1}$  – максимальный диаметр пор фильтра, м;  $a_*$  – коэффициент, зависящий от свойств кольматирующих частиц и числа Рейнольдса. Определяется по таблице 1.

**Таблица 1. – Коэффициенты  $a_*$  различных грунтов**

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

Частицы скелета грунта не будут просыпаться, если диаметры пор удовлетворяют условию:

$$D_{0,2} \geq 1,8d_{60},$$

где  $d_{60}$  – диаметры частиц, меньше которых в грунте содержится 60 % по весу.

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

$$D_{0,1} \leq D_0 \leq D_{0,2}.$$

По ним и подбирают из структурных фильтров наиболее подходящий. Необходимо иметь в виду и то, что все без исключения фильтры в той или иной степени неизбежно кольматируются в процессе работы дренажа. Степень кольматации зависит от физико-технических свойств фильтра и гранулометрического состава грунта, в котором фильтр заложен.

Степень кольматации полотна  $\alpha$  определяется как отношение коэффициента фильтрации закольматированного полотна  $K_{фз}$  к установленному на чистой воде  $K_{фч}$ :

$$\alpha = \frac{K_{фз}}{K_{фч}}.$$

Чем ближе полученная величина  $\alpha$  к 1, тем меньше степень кольматации. В настоящее время нет методов расчета кольматации структурных фильтров в связных грунтах. Единственную возможность оценки этого явления представляют специальные лабораторные опыты, в которых определяют отношение коэффициента фильтрации закольматированного материала к незакольматированному.

Проектирование защиты дренажа от кольматации должно основываться, прежде всего, на учете физико-технических характеристик грунтов и ожелезненности подземных вод. Физико-технические характеристики грунтов (гранулометрический состав, плотность, пористость, пластичность, водопроницаемость, фильтрационная прочность и др.) существенно различаются, что обуславливает применение разных материалов для защиты дренажа от заиливания.

Физико-технические характеристики минеральных грунтов определяются в основном соотношением различных фракций. Инженерные свойства торфяных грунтов зависят от ботанического состава, структуры, степени разложения органического вещества. Грунтовые и гидрогеологические условия будут определяющими при выборе технологии строительства дрен с фильтрами.

Основные характеристики несвязных грунтов – гранулометрический состав, водопроницаемость, пористость, суффозионность. По гранулометрическому составу они разделяются на ряд групп по крупности в процентах от веса грунта и составляют для наиболее крупных частиц гравия больше 2 мм – 50 % и наиболее мелких пылеватых с диаметром 0,1 мм – 75 % и менее.

Однородность несвязных грунтов, определяющая их пористость, водопроницаемость, способность к деформациям и другое оценивается коэффициентом разнозернистости:

$$\eta = d_{60} / d_{10}.$$

где  $d_{60}$ ,  $d_{10}$  – диаметры частиц, меньше которых в грунте содержится 60 и 10 % по весу.

При  $\eta \leq 5$  – структура песка равномерно зернистая.

Общая пористость колеблется в пределах от 0,2 до 0,55 %. Средний диаметр фильтрационных ходов в несвязных грунтах определяется формулой А.Н. Патрашева [2]:

$$d_0 = 7,12 \cdot \sqrt{v \frac{K_{sp}}{g \cdot n_i}}, \quad (4)$$

где  $v$  – кинематический коэффициент вязкости воды;  $n_i$  – пористость грунта, %.

Характерная особенность песчаных грунтов состоит в возможности возникновения внешней и внутренней суффозии при фильтрации воды с градиентами напора больше критических. Явление суффозии заключается в переносе водой мелких частиц внутри грунта. Суффозия в грунте развивается при критических скоростях, которые определяют по формуле С.К. Абрамова [3]:

$$v = 60 \sqrt[3]{K_{sp}}.$$

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

Связные грунты – глины, суглинки и супеси различного генезиса и возраста, в составе которых наряду с песчано-пылевыми фракциями имеется значительное количество тонкодисперсных осадочных новообразований. Отличительная особенность связных грунтов – пластичность, способность к набуханию и усадке, липкость. Классификация глинистых грунтов осуществляется по числу пластичности:

$$J_p = w_m - w_p,$$

где  $w_m$  – влажность на границе текучести, %;  $w_p$  – влажность на границе раскатывания (пластичности), %.

При  $0,01 \leq J_p \leq 0,07$  – грунт относится к супеси;

при  $0,07 < J_p \leq 0,17$  – к суглинку;

при  $J_p > 0,17$  – к глине.

Фильтрационная способность связных грунтов низкая, определяется опытным путем и ориентиро-

вочно составляет: для плотных глин  $K_{sp} \leq 0,01$ , для суглинков –  $0,01-0,1$ , для супеси –  $0,01-1$  м/сут.

Торфяники – грунты, содержащие более 60 % растительных остатков. Различают три типа торфа: низинный, переходной и верховой. Фильтрационные свойства хорошо- и среднеразложившегося торфа довольно низкие, коэффициенты фильтрации их колеблются в пределах  $0,4-1,2$  м/сут. Благодаря структурному сцеплению и малым размерам пор торфяники обладают высокой фильтрационной прочностью и относятся к несупфозионным грунтам. Механическое заиливание дренажа в торфе встречается редко, однако отложения железистых соединений представляют здесь существенную опасность.

#### Возможность самоочистки дренажа от механического заиливания

Отложение наносов в дренажных трубах возможно в том случае, если частицы грунта, проникшие через водоприемные отверстия и фильтрующий материал, будут оседать, т.е. скорости воды в дренах не обеспечивают взвешивания и перемещения наносов. Для предотвращения заиливания дренажей должны быть соответствующие транспортирующие скорости, зависящие от уклонов дренажных линий, внутренней шероховатости труб, степени их наполнения, а также крупности частиц, попавших в трубы. Минимально допустимые скорости рекомендуются: в глинистых и суглинистых грунтах –  $0,20$  м/с, в суглинистых и песчаных –  $0,30$  м/с, в пылеватых –  $0,40$  м/с.

Размыв отложившихся наносов и самоочистка дренажей зависит от крупности наносов. Размыв их крупностью  $0,1d < 0,25$  мм в гончарных и полиэтиленовых трубах диаметром  $50$  мм происходит при скоростях  $0,30-0,35$  м/с;

– в трубах диаметром  $100-200$  мм соответственно при  $0,35-0,40$  м/с и  $0,50-0,55$  м/с. Незначительно расходятся результаты для труб, заиленных наносами крупностью  $0,25 < d < 0,50$  мм;

– размыв отложившихся наносов в дренажах длиной до  $150$  м при модулях стока  $q=0,6$  л/с·га практически невозможен [4].

Многочисленные исследования показали, что заиливание дренажей практически не зависит от уклона в диапазоне  $0,000-0,004$  [4-6]. По данным исследователей из Германии самоочистка дренажей обеспечивается только при уклонах более  $0,05$  и скоростях воды в них  $1-2$  м/с. Самоочистка дренажей практически не происходит

при содержании ионов железа  $Fe^{2+}$  в грунтовой воде более 4 мг/л, стимулирующих их заохривание. Необходимо производить промывку дрен с первого года эксплуатации [7].

Вероятность самоочистки дренажных труб от песчаных наносов при  $i \leq 0,005$  довольно низкая. Гарантирован только вынос частиц  $d \leq 0,1$  мм. Защита дренажа от механического заиления в несвязных грунтах обязательна. Для предотвращения колюматации защитного фильтра суффозионными частицами грунта диаметром 0,03-0,05 мм, которые проникают в полость труб, скорость потока воды должна быть 0,3-0,5 м/с.

Наиболее вероятна самоочистка дрен в период паводков, когда скорости движения воды в трубах могут быть больше критических на размыв.

Интенсивность размыва и перемещение наносов в дренажных трубах определяется величиной донной скорости потока, зависящей от уклона дренажных линий, шероховатости внутренней поверхности труб, степени их наполнения и крупности частиц, попадающих в трубы.

Среднюю размывающую скорость потока определяют по зависимости предложенной К.Ф. Александром [8]:

$$V_{кр} = a \cdot d^6 / c, \quad (5)$$

где  $d$  – диаметр зерен песка, м;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – экспериментальные коэффициенты.

При крупности наносов  $d < 0,25$  мм коэффициенты  $a=0,208$ ;  $b=0,05$ ; если  $0,25 \leq d \leq 1,5$ , то  $a=1,6$ ;  $b=0,296$ ;

$$c = 0,68(h/D)^2 - h/D + 1,$$

$D$  – внутренний диаметр трубы, м;

$h$  – высота наполнения, м.

Транспортирующую способность потока в дренажных трубах рекомендуется определять по зависимости [1]:

$$Igm = \alpha_1 \cdot (V - V_{кр})^{\epsilon_1},$$

где  $m$  – расход наносов,  $см^3/с$ ;  $V$  – средняя скорость воды в дренах,  $см/с$ .

Параметры  $\alpha_1$  и  $\epsilon_1$  зависят от толщины слоя отложений в трубах и характера перемещения наносов. Для незаиленных труб  $\alpha_1=5,84$ ;  $\epsilon_1=0,123$ ; для частично заиленных ( $h_0=10$  и  $d>0,5$  мм)  $\alpha_1=4,88$ ;  $\epsilon_1=0,141$ .

Размыв наносов в керамических трубах возможен при скоростях более 0,25-0,35 м/с, в полиэтиленовых гофрированных – при скоростях более 0,25 м/с. Для очистки мелиоративного дренажа практическое значение имеет вынос частиц во взвешенном состоянии. Если слой отложений состоит из мелкозернистых наносов ( $d < 0,5$  мм), то транспортирующая способность потока при донно-грядовом перемещении наносов сравнительно постоянна  $m = 10^{-7} м^3/с$  и при фактических модулях стока для самоочистки дрен от наносов требуется несколько лет. При перемещении частиц во взвешенном состоянии транспортирующая способность потока увеличивается в десятки раз.

Для транспортирования частиц во взвешенном состоянии средние скорости потока должны удовлетворять соотношению

$$V_{cp} \geq U \cdot \sqrt{N}, \quad (6)$$

где  $U$  – гидравлическая крупность частиц (скорость равномерного осаждения частиц в неподвижной воде);  $N$  – характеристическое число, выражающее динамическое подобие турбулентных потоков.

$$N = M \cdot \frac{c}{g} \quad (7)$$

где  $c$  – коэффициент Шези;  $M=2m$  – коэффициент, изменяющийся от 22,3 (по Буссинеску) до 24 (по Базену).

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

$$M = 0,7C + 6. \quad (8)$$

Коэффициент  $C$  можно определять по формуле Базена

$$C = 87 / \left( 1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right) \quad (9)$$

где  $\gamma$  – коэффициент шероховатости для керамических труб  $\gamma = 0,27$ ;  $R$  – гидравлический радиус, равный  $D/4$  при полном заполнении труб, при высоте наполнения труб, равной  $h_0$

$$R = \frac{D}{4} \cdot \frac{180}{\arccos\left(1 - \frac{2h_0}{D}\right)}. \quad (10)$$

В таблице 2 представлены значения критических средних скоростей потока и минимальные

уклоны дренажных линий для труб диаметром 50 и 100 мм (вычисляемые по формулам 6-10). Установлено, что при самых минимальных уклонах и заполнении труб, равном  $D/4$ , частицы диаметром  $d \leq 0,1$  мм должны выноситься из дрен во взвешенном состоянии. Для выноса частиц диаметром  $d \leq 0,3$  мм необходимы уклоны  $i=0,005-0,01$  при половинном наполнении труб и  $i=0,003-0,006$  – при полном. Для выноса частиц  $d=0,3$  мм необходимы уклоны  $i=0,005-0,01$  при половинном наполнении труб водой;  $i=0,003-0,006$  при полном наполнении. Для выноса частиц имеющих  $d \geq 0,4$  мм нужны  $i \geq 0,01-0,03$ . Вероятность самоочистки дренажных труб от песчаных наносов при  $i \leq 0,005$  довольно низкая. Гарантирован только вынос частиц  $i \leq 0,1$  мм.

Из рассмотренных условий, обуславливающих возможность заиления и самоочистки дренажа,

следует вывод о необходимости тщательного подбора защитно-фильтрующих материалов в соответствии с почвенно-грунтовыми условиями мест его строительства. В настоящее время геотекстильные материалы являются преобладающими для этих целей, при этом наиболее применяемым является импортный материал Турар®. В РУП «Институт мелиорации» проведены лабораторные и полевые исследования отечественных и импортных марок геотекстильных материалов. В результате установлены их физико-механические, фильтрационные характеристики и даны рекомендации по применению на мелиоративных объектах Беларуси.

В таблице 3 приведены рекомендуемые геотекстильные материалы наиболее приемлемые для фильтров дрен в различных почвенно-грунтовых условиях.

**Таблица 2. – Критические скорости воды и необходимые уклоны дрен для выноса частиц грунта из труб**

Диаметры частиц $d$ , мм	Гидравлическая крупность $U$ , см/с	Критическая средняя скорость выноса частиц $u_{кр}$ , см/с			Необходимые минимальные уклоны дрен 100		
		$h/D=1$	$h/D=1/2$	$h/D=1/4$	$h/D=1$	$h/D=1/2$	$h/D=1/4$
<b>Диаметр труб <math>D_{вн} = 100</math> мм</b>							
0,10	0,50	4,84	4,18	3,42	0,005	0,016	0,031
0,15	0,82	7,95	6,87	5,62	0,012	0,042	0,085
0,20	1,50	14,53	12,55	10,26	0,04	0,14	0,174
0,30	2,77	26,80	23,90	18,93	0,28	0,48	0,590
<b>Диаметр труб <math>D_{вн} = 50</math> мм</b>							
0,10	0,50	3,92	3,57	2,68	0,02	0,03	0,07
0,15	0,82	6,43	5,53	4,40	0,05	0,09	0,18
0,20	1,50	11,78	10,10	8,04	0,17	0,30	0,59
0,30	2,77	21,73	18,68	14,85	0,60	1,00	2,00

**Примечание:** Гидравлическая крупность частиц взята при температуре воды 10 °С,  $h/D$  – степень наполнения труб водой

**Таблица 3. – Способы защиты горизонтального пластмассового дренажа от заиления**

ВИД ГРУНТА	РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЗАЩИТНО-ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ (МАРКИ) И СПОСОБЫ ЗАСЫПКИ ДРЕН
ГЛИНА, СУГЛИНОК	<p>ПНМ-ППВ-Т-150 с гидрофильной добавкой и без нее (ОАО «ПИНЕМА»);                      ПНМ-ПЭВ-И-150-С (ООО «Гронема»);                      Турар® SF 20; Турар® SF 27 (DuPont);                      кокосовый фильтр (Naue).</p> <p>1. Присыпка дрен песчано-гравийной смесью слоем более 10 см.                      2. Присыпка дрены растительным грунтом слоем 25-30 см.</p>

Окончание таблицы 3

ВИД ГРУНТА	РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЗАЩИТНО-ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ (МАРКИ) И СПОСОБЫ ЗАСЫПКИ ДРЕН
ПЕСОК, СУПЕСЬ	<p>Геотекстили с размерами пор, обеспечивающие вынос суффозионных частиц: ПНМ-ППВ-Т-150; ПНМ-ППВ-И-130 с гидрофильной добавкой (ОАО «ПИНЕМА»); ПНМ-ПЭВ-И-150-С; ПНМ-ПЭВ-И-125-С (ООО «Гронема»); АкваСпан Ф-И-90 (ОАО «Светлогорск-Химволокно»); Tyrap® SF 32; Tyrap® SF 27 (DuPont).</p> <p>1. Присыпка дрен может производиться вынутым грунтом, как и засыпка.</p>
ТОРФ	<p>ПНМ-ППВ-Т-150 с гидрофильной добавкой и без нее (ОАО «ПИНЕМА»); ПНМ-ПЭВ-И-150-С (ООО «Гронема»); АкваСпан Ф-И-90 (ОАО «Светлогорск-Химволокно»); Tyrap® SF 20; Tyrap® SF 27; Tyrap® SF 32 (DuPont); кокосовый фильтр (Naue).</p> <p>геотекстили с соотношением <math>K_f/K_{гр} &gt; 10</math> при содержании железа до 4 мг/л.</p> <p>1. Присыпка дрен может производиться сухим торфом из верхнего слоя почвы.</p>

**Заключение**

1. Приведены условия незаиляемости дрен суффозионными частицами грунта, которые должны быть в 3-4 раза меньше диаметра пор фильтра.

2. Поскольку методов расчета кольматации фильтров не существует, предложено характеризовать их степенью кольматации, определяемой по отношению коэффициента фильтрации закольмати-

рованного материала к незакольматированному.

3. Установлены транспортирующая и размывающая скорости потока, зависящие от крупности частиц наносов.

4. По результатам проведенных лабораторных и полевых исследований установлены способы защиты горизонтального пластмассового дренажа от заиления.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Мурашко, А.И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А.И. Мурашко. – М. : Колос, 1982. – 271 с.
2. Патрашев, А. Н. Инструкция по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений / А. Н. Патрашев, Г. Х. Праведный. – Ленинград : Типография ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева, 1981. – 107 с.
3. Абрамов, С.К. Методы подбора и расчета фильтров буровых скважин. Фильтры водозаборных скважин / С.К. Абрамов. – М. : Госстройиздат, 1952.
4. Скрыпник, О.В. Экспериментальные исследования безуклонного и малоуклонного дренажа./ О.В. Скрыпник, П.И. Гать, М.А. Солонко // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – №8. – С. 27.
5. Бузинный, В.Г. Влияние уклона и диаметра дрен на их заиление./ В.Г. Бузинный // Мелиорация и водное хозяйство. – 1979. – №8. – С. 51.
6. Блажис, Б.И. Определение минимальных уклонов дренажных коллекторов./ Б.И. Блажис, В.В. Гуркис // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – №6. – С. 37-38.
7. Эггельсман, Р. Руководство по дренажу / Р. Эггельсман. – М. : Колос, 1984. – 247 с.
8. Алеканд, К. Ф. Исследование заиления гончарного дренажа в минеральных грунтах : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / К. Ф. Алеканд ; Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства. – Минск, 1966. – 27 с.

Поступила 18.12.2017