

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СОПРЯЖЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ ЛИНИЙ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ ИХ ЗАИЛЕНИЯ

А.И. Митрахович, кандидат технических наук

Э.Н. Шкутов, кандидат технических наук

В.М. Макоед, старший научный сотрудник

И.Ч. Казьмирук, научный сотрудник

В.В. Лебедев, инженер

РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: заиление дрен, скорость потока, размыв наносов, уклон, сопряжение дрен, кольматации, фильтрующая засыпка, транспортирующая способность труб, коллектор, реконструкция

Введение

На период до 2015 года в Республике Беларусь намечены большие объемы работ по реконструкции мелиоративных систем. Одним из основных функциональных составляющих мелиоративных объектов, подлежащих реконструкции, является горизонтальный дренаж с конструктивными элементами. Ставится задача повышения эффективности реконструкции мелиоративных систем, снижения ее стоимости за счет максимального использования работоспособных элементов, применения новых материалов и конструкций.

Проблема неэффективного действия дренажа и необходимость получения информации о его работе для проектирования реконструкции в настоящее время весьма актуальна. При выборе проектных параметров мелиоративных систем необходима объективная и достоверная информация о состоянии закрытого дренажа, где кроме обычных изысканий нужно определять причины отказа и техническое состояние дренажа.

К наиболее частой причине снижения работоспособности систем можно отнести заиление дренажных труб частицами грунта, в котором заложены дрены. Степень их заиления, прежде всего, зависит от вида грунта, скоростей течения воды в дренах, защиты стыков и перфорированной поверхности труб фильтрующими материалами; качества строительных работ. В результате заиления полостей труб и кольматации фильтров уменьшается их водопропускная и водоприемная способности. Во всех случаях это приводит к увеличению срока отвода избыточных вод, запаздыванию посевных работ, вымоканию сельскохозяйственных культур в вегетационный период, несвоевременной уборке урожая, что в конечном итоге ведет к его потере.

Прочностные свойства дренажных труб

Проведение изыскательских работ по определению технического состояния дренажа предполагает определение внешнего вида дренажных труб, но не дает основания утверждать, что они пригодны к дальнейшей эксплуатации по прочностным показателям.

Для обоснования возможности применения дренажных труб старых систем с различным сроком эксплуатации были проведены специальные исследования их прочностных характеристик. Для этой цели отобраны коллекторные трубы, которые были заложены ниже зоны промерзания на 32 мелиоративных объектах с минеральными и торфяными почвами в 16 районах Витебской и Минской областей. Трубы подвергались 15-ти циклам «замораживание-оттаивание» и не разрушались при испытании на прочность при нормативных нагрузках. Всего проанализированы данные по 133 коллекторным трубам диаметром от 75 до 200 мм. Построен график зависимости прочности керамических дренажных труб от срока их эксплуатации (рис. 1).

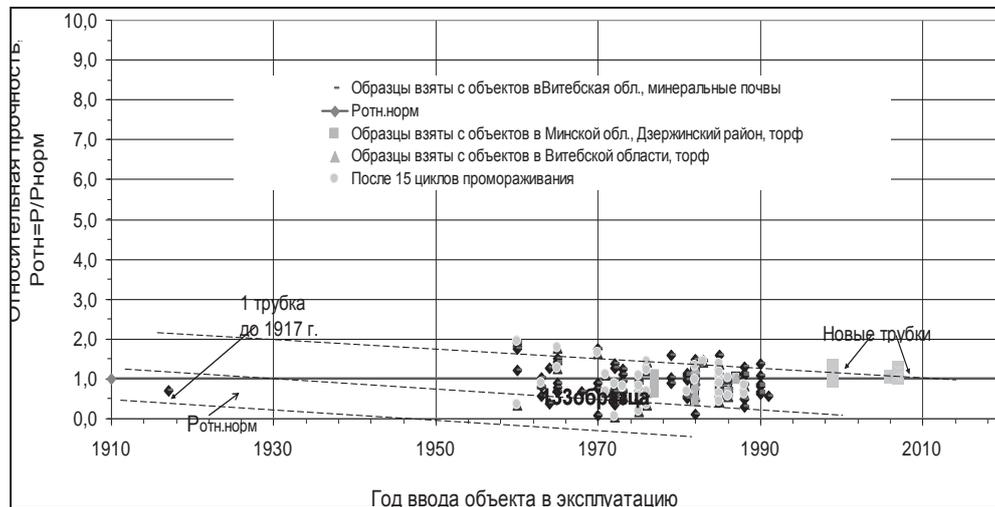


Рисунок 1 — Относительная прочность керамических дренажных труб ($P/P_{норм}$) при различных сроках эксплуатации мелиоративных систем.

Анализ результатов испытаний показал, что прочность труб, бывших 30—40 лет в эксплуатации на мелиоративных объектах, практически не уступает новым, они могут использоваться и в дальнейшем, что позволит существенно уменьшить стоимость реконструкции за счет максимального использования существующей дренажной сети. Следует отметить, что прочность круглых труб несколько выше, чем многогранных.

Факторы, обуславливающие заилиение дрен

Относительно величины допустимой степени заилиения труб и снижение их пропускной способности нет единого мнения. При заилиении труб до 0,3 внутреннего диаметра возможно уменьшение их пропускной способности до 70 % [1]. Некоторые исследователи считают, что при высоте наилка равной 0,1—0,5 диаметра трубы [1], [2] уже требуется

проводить ремонт дренажной системы. Проектирование объектов реконструкции отличается от впервые осушаемых, оно характеризуется множеством возможных технических решений в зависимости от причин отказа. Системы, в которых отсутствует сток вследствие заиления коллекторов и дрен рекомендуется перестраивать. Другую группу составляют системы, дренажная сеть которых в состоянии отводить поступающую в нее воду, но эти расходы меньше требуемых. Для повышения интенсивности осушения таких систем при достаточной глубине коллектора проектируются дополнительные дрены.

Для предотвращения заиления дрен должны обеспечиваться соответствующие транспортирующие скорости, зависящие от их уклонов. 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 [3].

По результатам исследования ряда ученых, для размыва наносов крупностью $0,1d < 0,25$ мм в гончарных и полиэтиленовых трубах диаметром 50 мм достаточно скорости 0,30—0,35 м/с, а в трубах $\varnothing 100$ —200 мм соответственно 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 дренах длиной до 150 м при модулях стока $q \approx 0,6$ л/с-га практически невозможен [4]. Многочисленные исследования показали [4], [5], [6], что заиление дрен практически не зависит от их уклона при его величине 0,000—0,004. По данным исследований, проведенным в ГДР, самоочистка дрен обеспечивается только при уклонах более 0,05 и скоростях воды в них 1—2 м/с [4]. По Р. Эггельсману [7] самоочистка дренажной трубы практически не происходит на почвах, стимулирующих их заохривание. В этих условиях следует предусматривать промывку дрен с первого года эксплуатации.

Прокладка дрен с нормативными уклонами не обеспечивает также скоростей потока, при которых происходила бы гидравлическая промывка. В тоже время отмечается влияние величины диаметра труб на степень их заиления. Так, по данным В.Г. Бузинного [5], исследовавшего эффективность и состояние малоуклонного и безуклонного дренажей в регионе Полесья ($i=0,0005$ -0,004), который заложен в мелкозалежных торфяниках, подстилаемых мелкозернистыми и пылеватыми песками на объектах «Ракитно» Лунинецкого, «Ямно», «Парахонский» Пинского и «Новоселки» Петриковского районов со сроком службы от 1 до 7 лет. Трубы малых диаметров (50—75 мм) были заилены на 39 %. В то же время, заиление труб большого (100—175 мм) не превышало 7,3 % поперечного сечения. Гранулометрический состав отложений в дренах представлен в табл. 1.

На объектах «Ямно» и «Новоселки» наносы состоят, в основном, из мелкозернистого песка, в «Порохонском» — из пылеватого песка. Высота наилка колебалась в пределах 4—21 мм, площадь заиления составила от 1 до 10 см² или 2—39 % площади поперечного сечения труб диаметром от 50 до 175 мм.

Процесс заиления гончарного дренажа и гранулометрический состав наилка в гон-

Таблица 1 — Гранулометрический состав отложений (по данным В.Г. Бузинного) на обследованных объектах, %

Объект	d > 1 мм	1 мм > d > 0,5 мм	0,5 мм > d > 0,25 мм	0,25 мм > d > 0,1 мм	D < 0,1 мм
«Парахонский»	-	0,39	5,41	41,88	52,40
«Ракитно»	0,47	6,86	26,40	54,13	12,14
«Новоселки»	1,26	8,43	20,92	58,32	11,07
«Ямно»	5,84	6,62	35,20	47,70	4,64

чарных дренах, заложенных в 1962 году, изучался на объекте Полесской опытной болотной станции А.И. Михальцевичем и К.С. Пантелеем при подпочвенном увлажнении путем шлюзования [8]. Дренаж заложен в мелкозалежном торфянике, подстилаемом мелкозернистыми песками. Гранулометрический состав наилка содержал частицы размером от 0,05 до 0,5 мм (63—93 %), причем шлюзование намного увеличивало заилиение дрен, особенно на приустьевых участках. По результатам исследований был сделан вывод, что при подпочвенном увлажнении путем подачи воды из зашлюзованного канала в устья одиночных дрен, их заилиение ускорится в 5—16 раз по сравнению с участками, где шлюзование не проводилось. Приустьевые участки дрен Ø 50 мм при ежегодном подпоре со стороны каналов (около 3 месяцев теплого периода) могут полностью заилиться через 16—22 года. Данные по пропускной способности частично заиленных дрен следует учитывать при определении необходимости их промывки. Необходимо установить степень заилиения труб, при которой целесообразно проводить промывку.

Способы сопряжения дрен

При проектировании объектов реконструкции мелиоративных систем, существующие и дополнительные новые дренажи, которые подключаются к новым коллекторам. При этом узел сопряжения существующих дрен с коллектором играет немаловажную роль в увеличении водопрпускной способности, повышении надежности и долговечности дренажной системы. Наиболее простой способ — это подключение дренажа непосредственно к коллектору с помощью тройников. Если существующие дренажи заилены, не исключено поступление наносов из них в коллектор, что может привести к его заилению и снижению пропускной способности. Разработка способов предотвращения этого процесса является насущной проблемой, поскольку на объектах реконструкции дренажа будет большое количество узлов сопряжения дрен, которые во многом определяют работоспособность системы. Для исключения этого процесса предлагается способ подключения через песчано-гравийную засыпку. РУП «Белгипроводхоз» (рис. 2) этот способ уже применяет. Суть его состоит в том, что устьевая часть дренажа длиной 100 см выполняется из гофрированной дренажной трубы Ø 90 мм с фильтром и заглушкой на конце. Вода из дренажа поступает через фильтрующую засыпку в коллектор. Объем фильтрующей засыпки ПГС на коллекторе составляет 0,5 м³. Этот способ в достаточной степени не апробирован, особенно при сопряжении заиленных дрен. Недостатком такой конструкции является вы-

нос наносов из дрены в трубу с фильтром, что приведет к закупорке ее концевой участка, снижению или прекращению ее работы. Такой способ ранее применялся при строительстве дренажа бестраншейным способом, тогда вывод осушителей в коллектор осуществлялся по принципу выведения кротовин в засыпку дрен-собирателей. При применении вышеуказанного способа сопряжения необходимо установить параметры: объем и коэффициент фильтрации засыпки, длину подключаемой к дрене трубы и др.).

С целью определения расчетных параметров такого соединения в РУП «Институт мелиорации» проведены специальные опыты в грунтовых лотках с фильтрующей засыпкой из песка среднезернистого и крупнозернистого. Моделировался коллектор из полиэтиленовой гофрированной трубы диаметром 63 мм с площадью перфорации 51 см²/м и защитно-фильтрующим геотекстильным материалом. Труба засыпалась среднезернистым песком на высоту 20 см, подача воды в лоток осуществлялась при ступенчатом подъеме напора, а замеры расхода из дрены при ступенчатом снижении напора. Сток из

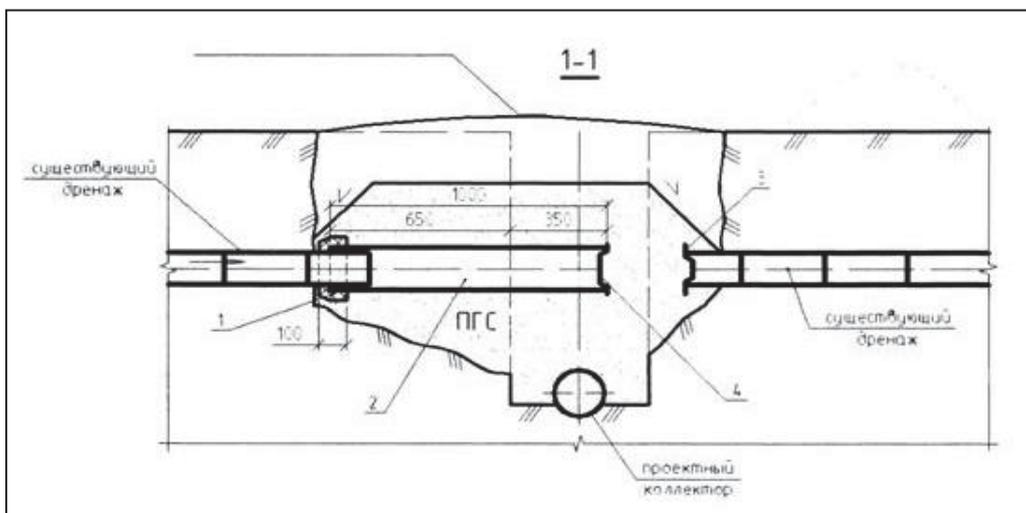


Рисунок 2 — Схема подсоединения существующих дрен к проектному коллектору:

1. Полотно нетканое мелиоративное
2. Труба ПНД 90 мм с фильтром
3. Заглушка концевая диаметра 63 мм
4. Заглушка концевая диаметра 90 мм

трубы составил 0,17—0,23 л/с при напорах 24—31 см. Для наблюдения напора над дренажной трубой в лотке были установлены наблюдательные скважины. По аналогичной методике проведены опыты в большом грунтовом лотке, где моделировались работы коллектора и дрены одновременно. В лоток заложили на двух уровнях через 20 см по высоте две дренажные трубы $d=63$ мм, площадью перфорации 51 см²/м, обернутые фильтром. Верхняя труба на конце была заглушена. Длина нижней трубы равнялась 95 см.

В результате опытов, проведенных в грунте с коэффициентом фильтрации 10—

13 м/сут. было установлено, что при напорах воды над дренами 0,37 и 0,55 м получен расход 0,24 и 0,46 л/с на 1 м. п. трубы соответственно. Такие расходы обеспечивают площадь осушения 0,5—0,9 га, при расчетном модуле стока 0,5 л/с·га. Коллектор Ø75 мм может принимать воду из дрены длиной до 200 м. Установлено, что для пропуска расхода 0,5 л/с дрены-осушителя, коллектор с перфорацией 45—50 см²/м должен иметь в месте сопряжения песчано-гравийную обсыпку длиной 70 см и коэффициентом фильтрации более 10 м/сут. Такой способ сопряжения дрен может быть применен при отсутствии в них механического заиливания. Однако выявить внутреннее состояние дрен по всей длине при существующих способах диагностики в настоящее время практически невозможно.

Водоприемная способность дрен

Проведены специальные исследования в грунтовых лотках по определению водоприемной способности заиленных дренажных труб и исследования кольматации фильтрующей песчаной засыпки. Испытания проводились по вышеуказанной методике. Грунтовый лоток дооборудовался приспособлением приготовления суспензии для образования кольматанта. Оно состояло из бачка-смесителя, в котором производилось смешивание грунта с водой в определенной пропорции. Полученная суспензия подавалась в перфорированную трубу-дрену. В качестве грунта для суспензии использовалась супесь сизая или лессовидная.

Концентрация суспензии характеризуется отношением:

$$C = \frac{T}{Ж} ,\%$$

где Т — масса сухого грунта, кг;

Ж — масса чистой воды, кг.

Процесс кольматации в данном случае связан с процессами фильтрации. Явления, происходящие при этом, не зависят однозначно от диаметра пор фильтрующего материала.

При фильтрации через песчаный или синтетический фильтр суспензии, которая образуется в результате размыва наносов в дренах, возможны три режима, связанные с концентрацией суспензии и размером частиц в ней [9]:

- фильтрация с полной закупоркой пор, когда отдельная твердая частица плотно закрывает один поровый канал;

- фильтрация с постепенной закупоркой пор, когда на некоторой глубине фильтра образуется более закольматированный слой, толщина которого увеличивается к поверхности фильтра. При этом фильтр никогда не кольматируется полностью, но водопроницаемость его может быть больше или меньше водопроницаемости осадка;

- фильтрация с образованием осадка, когда твердые частицы суспензии практически не проникают в толщину фильтра, а образуют осадок, который определяет пропу-

скую способность всей системы фильтр-осадок.

При фильтрации через гравийный фильтр, структура порового пространства которого такая, что частицы проникают на большую глубину и откладываются более плотным слоем.

До настоящего времени детально не изучена и не установлена допустимая степень кольматации фильтрующей засыпки и геотекстильных материалов, а также их водопроницаемость в зоне водозахватной способности дрены. Это требует проведения специальных экспериментов. На рис. 3 приведена схема установки по изучению пропускной способности труб в зависимости от степени их кольматации.

В малом грунтовом лотке была установлена труба гофрированная диаметром 63 мм с площадью перфорации 51 см²/м и защитно-фильтрующим материалом, которая работала в качестве дрены. Сверху над ней была заложена вторая дренажная труба с фильтром, на глубине 5 см от поверхности, в которую из бака-смесителя подавалась суспензия. Опыты проводились как в напорном режиме, с подачей воды в лоток и слоем затопления, так и с подачей только пульпы. Расход из дрены, при подаче пульпы в лоток с водой, находился в пределах 0,15—0,19 л/с на 1 м. п. трубы, в зависимости от напора.

При подаче в верхнюю трубу только суспензии сток из дрены составлял 0,002-0,005 л/с. При визуальном осмотре трубы было установлено, что она почти полностью закольматирована песком. Суспензия в трубу подавалась под напором 0,40 м. После извлечения верхней трубы были проведены опыты на чистой воде по водопроницаемости дренажной трубы после кольматации. Установлено, что сток из дрены умень-

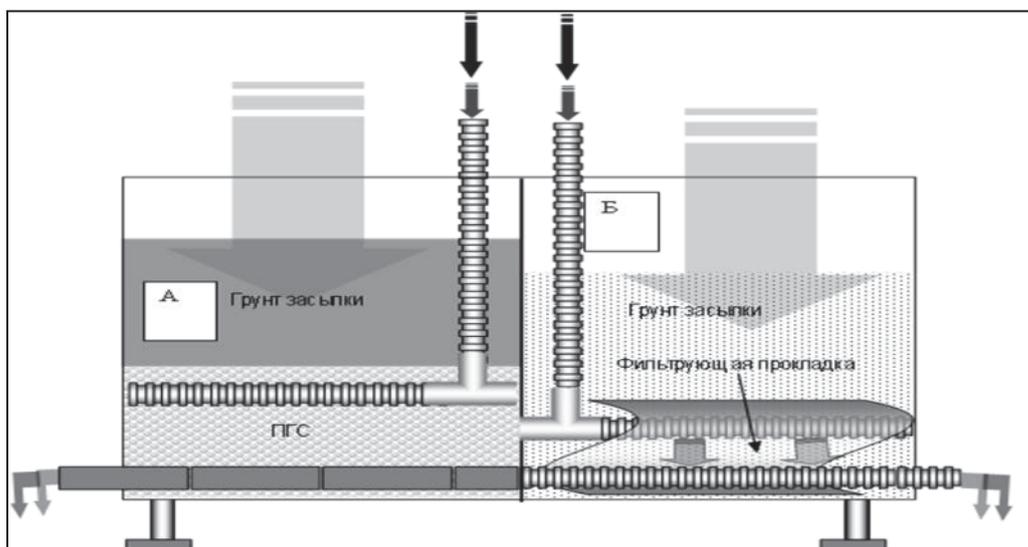


Рисунок 3 — Схема установки по изучению зависимости пропускной способности дренажных труб от степени кольматации.

шился более чем на 50 %.

Сравнение пропускной способности трубы на чистой воде до и после подачи в лоток суспензии по второй трубе показала существенное уменьшение ее водоприемной способности за счет кольматации пылеватыми частицами грунта обсыпки трубы — песка. В результате исследований установлено, что применять способ сопряжения дрен через фильтрующую засыпку, предложенный РУП «Белгипроводхоз», можно только в случаях отсутствия заиления в существующих дренах. Этот способ оказывается неработоспособным в условиях заиленных труб и возможного выноса наносов. Устьевая часть трубы с фильтрующим материалом забивается наносами, и сток из нее резко уменьшается. Принимая во внимание характер кольматации песчаных засыпок и устьев сопрягающих дрен с крышками в торце, разрабатываются конструкции сопряжения, принцип действия которых основан на свободном истечении пульпы из заиленных дрен. Это позволяет рассредоточивать выносимые наносы по площади песчано-гравийной засыпки, а не концентрировать их локально в месте выхода из дрены, что обеспечит более надежную и долговременную работу дрен. Одним из вариантов сопряжения дрен является применение конструкции с куполообразным приемником наносов. Труба без заглушки укладывается непосредственно на песчаную засыпку или фильтрующий материал из полиэтиленовых пластин, торцы ее защищены геотекстильным фильтрующим материалом. В большом грунтовом лотке были апробированы 2 варианта такого сопряжения. Подача суспензии в дренажную трубу не привела ее к заилению.

Учитывая возможность кольматации песчаных засыпок наносами из дрен, проведены специальные исследования по изучению этого процесса. Применяя способ сопряжения дрен через песчаную засыпку, следует тщательно подбирать ее гранулометрический состав.

Транспортирующая способность дренажных труб

Проектируя мероприятия по сопряжениям заиленных труб с коллекторами необходимо знать размывающую скорость наносов в дренах, процессы перемещения и характер их отложений. Особенное значение это имеет при соединении дрен с коллектором посредством тройников. Было проведено изучение процессов транспортирования наносов на опытной установке, которая включала трубопровод, подающий воду из водопровода с регулирующим расход вентилем; транспортирующую стеклянную трубу диаметром 50 мм; дозиметр в виде воронки с конусной насадкой; песколовку на конце трубы. Стеклянная труба длиной 3 м, установленная с уклоном 0,002, испытывалась при безнапорном движении воды в ней. В качестве транспортируемого материала применялся песок пылеватый с диаметром частиц < 0,20 мм. Песок подавался в трубу через воронку-дозатор, установленную в начале трубы.

В трубе был установлен фильтр для гашения кинетической энергии струи воды, поступающей из водопровода и создания относительно равномерного потока в трубе.

Дозировка песка пылеватого производилась пластмассовой воронкой с конусной насадкой для постоянного его поступления в трубу. Скорость движения воды в трубе замерялась с помощью поплавков. Объем подаваемого в трубу песка составил 2—4 литра. Подача песка начиналась после достижения установившегося режима движения потока воды. Каждый эксперимент продолжался в течение 2—3 часов без перерыва. Вынос наносов замерялся с помощью рукава, установленного в конце трубы. Процесс транспортирования песка после подачи его в трубу начинался с осаждения его на дне и дальнейшего донно-грядового движения частиц и заканчивался интенсивным выносом. Проведена серия опытов по транспорту наносов, включающая свободное истечение потока из трубы и с перекрытием сечения трубы геотекстильными фильтрами.

Опыты начинались с подачи в трубу чистой воды и расходом 0,026 л/с. При установившемся движении потока в трубу в течение 60 мин через воронку подавался песок с размером частиц меньше 0,25 мм. Затем был замерен расход, который составил 0,023 л/с при скорости потока 0,1 м/с. Выноса наносов практически не наблюдалось.

В опыте с наличием в устьевой части трубы фильтра из геотекстильного материала наблюдалось неравномерно осаждение наносов по всей длине трубы при скорости потока 0,3 м/с и расходом 0,024 л/с. При увеличении расхода до 0,068 л/с под влиянием фильтра образовалась кривая подпора. Слой наносов по всей трубе составлял 1,8—2,2 см. После удаления фильтра происходило донно-грядовое движение наносов (см. рис. 4), при скорости 0,2 м/с.

Характер формирования наносов при наличии фильтра, установленного на $\frac{1}{2}$ диа-

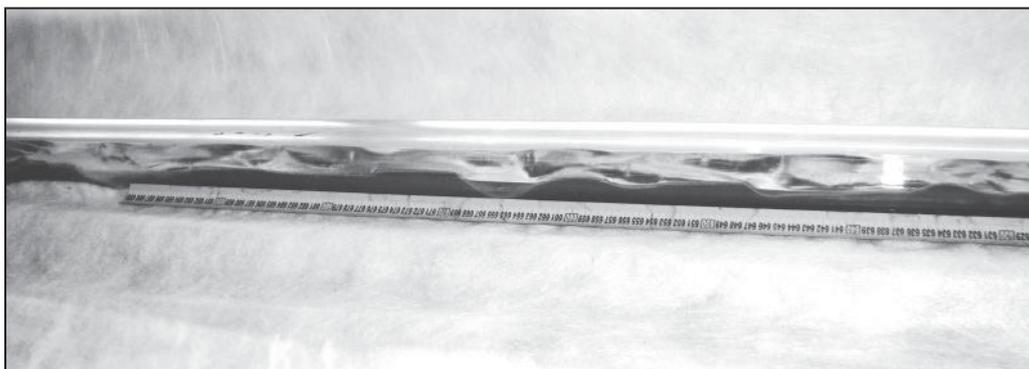


Рисунок 4 — Характер распределения наносов в трубопроводе

метра трубы, отличается от полученного в предыдущем опыте. Наносы откладывались от фильтра на всю его высоту, и происходил их вынос при скоростях 0,2 м/с. Был определен гранулометрический состав вынесенного песка, более 90 процентов которого составляют частицы меньше 0,25 мм.

Результаты проведенных опытов показали, что транспорт наносов из заиленных

дренажных труб может существенно влиять на работоспособность дренажной системы. Насущной проблемой является разработка конструктивных решений по способам соединения дренажных линий существующих заиленных труб с новыми коллекторами.

Выводы

При сопряжении через фильтрующую засыпку существующих незаиленных дрен с коллектором, установлены параметры участка коллектора: длина (0,7 м), диаметр (63 мм), площадь перфорации (45—50 см²/м), которые могут обеспечить площадь осушения до 0,8 га при напорах воды над дреной 0,3—0,55 м.

Исследование кольматации защитно-фильтрующих материалов и песчаной засыпки наносами из дрены позволило установить, что применяемая РУП «Белгипроводхоз» конструкция сопряжения дрен через песчаную засыпку в условиях закольматированных дрен будет неработоспособна. Разрабатываются новые способы сопряжения, обеспечивающие надежное функционирование дренажной системы.

Определены величины размывающих и транспортирующих скоростей потока в заиленных мелкозернистым песком дренах, они составляют не менее 0,2 м/с.

По результатам исследования установлено, что прочностные характеристики дренажных труб, бывших в эксплуатации 30—40 лет, практически не отличаются от новых и могут использоваться для дальнейшей эксплуатации. Это позволит существенно уменьшить стоимость реконструкции.

Литература

1. Жагарис П.В. Исследование гидравлических сопротивлений и движения наносов в частично заиленных дренах. Автореферат Дисс. канд. техн. наук. / Жагарис П.В. - Минск, 1973, - 26 с.
2. Рекомендации по ремонту дренажных систем для Северо-Западной зоны РСФСР. Ленинград, 1970 (СевНИИГиМ). 40 с.
3. Lietuvos TSRMuVUM LHMMTI, RVOPI Nurodymai melioracijos projekty sudarynii I dalis. Nusausinimas, Kaunas, 1966.
4. Скрыпник, О.В. Экспериментальные исследования безуклонного и малоуклонного дренажа. / О.В. Скрыпник, П.И. Гать, М.А. Солонко. // Гидротехника и мелиорация. – Москва, 1979. – №8. – С. 27
5. Бузинный, В.Г. Влияние уклона и диаметра дрен на их заиление. / В.Г. Бузинный // Мелиорация и водное хозяйство. – Москва, 1979. – №8. – С. 51.
6. Блажис, Б.И. Определение минимальных уклонов дренажных коллекторов. / Б.И. Блажис, В.В. Гурклис. // Мелиорация и водное хозяйство. – Москва, 1988. – №6. – С. 37-38.
7. Эггельсман, Р. Руководство по дренажу. / Эггельсман, Р. – Москва: Колос, 1984. – С. 247.
8. Михальцевич, А.И. Заиление гончарных дрен при шлюзовании. / А.И. Михальцевич, К.С. Пантелей // Мелиорация и водное хозяйство. – Москва, 1972. – №8. – С. 16-18.

9. Пивовар, Н.Г. Дренаж с волокнистыми фильтрами. / Н.Г. Пивовар, Н.Г. Бугай, В.А. Рычко. – Киев: Наукова думка, 1980. 211 с.

Summary

Mitrakhovich A., Shkutov E., Makoed V., Kazmiruk I., Lebedev V.

THE RESEARCH OF DRAINAGE PIPES CONJUGATION METHODS SUBJECT TO SOILING FACTORS

The analysis of drainage pipes functionality with different level of soiling on land-reclamation systems of Polesye is presented. Structural solution for drainage pipes lines conjugation via filtering filling is considered. The study results of its water capacity are given including pump entry; parameters such as manifold patch length, perforation area, amount of filling are presented which gives a chance to provide drainage area of 0.8 ha with flow rate 0.5 l/sec on hectare. Drawbacks of this conjugation method developed by RUE «Belhyprovodhoz» are disclosed. Carrying capacity of drainage pipes with filtering elements preventing drain drifts entry into manifold is studied. The minimal amount speed of eroding velocity in drains is specified which maintain erosion and removal of laydown with 0,05-0,25 fineness mm.

The results of research are premise for constructive solutions development of drainage lines conjugation methods and proving the rinse necessity.

Поступила 3 апреля 2013 г.