

УДК 631.6: 626.86

ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ НА СВЯЗНЫХ ГРУНТАХ

В.Т. Климков, доктор технических наук

И.Ч. Казьмирук, аспирантка

А.И. Митрахович, кандидат технических наук
РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: реконструкция, дренаж, кольматаж, объемный фильтр, защитно-фильтрующие материалы, контактные сопротивления

Введение

Связные грунты (минеральные и торфяники) являются наиболее плодородными в нашей республике. От водного режима на них во многом зависит уровень сельскохозяйственного производства и рентабельность производимой продукции. Реконструкция осушительных систем требует тщательного учета опыта проектирования и эксплуатации мелиоративных систем предшествующего периода и применения новых перспективных экономически оправданных решений с учетом новейшего опыта других стран. Прежде всего, следует обобщить проявившиеся негативные явления по осушительному действию, выявить их причины и предупредить их появление в будущем.

Наиболее распространенным способом осушения связных грунтов является горизонтальный дренаж, который зачастую дополняют комплексом мероприятий, подразделяемых по своему назначению на две группы: для отвода поверхностных вод путем ускорения стока воды по поверхности почвы в каналы или в дренаж через поглотители различных конструкций и для отвода избыточной воды из пахотного корнеобитаемого слоя [1].

Исследования последних лет показали, что на малоуклонных участках осушительное действие дренажных систем, запроектированных и построенных в соответствии с действующими нормативами, во многих случаях оказывается недостаточно эффективным. Раскопками установлено, что это обуславливается слабой проницаемостью обратной засыпки в нижней части дренажной траншеи, через которую в таких грунтах преимущественно поступает вода с поверхности в дренажные трубы, кольматацией защитно-фильтрационного материала (ЗФМ) и низкой водопримной способностью керамических дренажных труб.

Результаты исследований и обсуждение

Образование слабопроницаемого экрана обусловлено растворением комьев грунта засыпки, их оплыванием при застаивании воды в засыпке, которое обычно происходит при весеннем или летнем паводке и подпоре воды в дренажных линиях. Подобное явление наблюдается и в других случаях: при заилении каналов и закупорке наносами

выходных отверстий дренажных устьев, их разрушении с подпором воды в коллекторе, при недостаточной водоприемной способности дренажных труб. В то же время при отсутствии подпора воды дренажная засыпка может сохранять рыхлую структуру и спустя 20-30 лет после строительства, обладает относительно хорошей проницаемостью, обеспечивая осушительный эффект.

Определенное положительное влияние оказывает засыпка дрен растительным грунтом, увеличивая модуль дренажного стока на 3-30% [2].

Объясняется это тем, что при нормально работающем дренаже (без застоя воды в засыпке дренажных траншей) вода проходит через засыпку со скоростью, при которой комья грунта не успевают раствориться и длительное время, т.е. в течение десятков лет, засыпка сохраняет свою рыхлую структуру. Если в песчаных грунтах временный подпор воды в дренаже мало влияет на его последующую работоспособность, то в глинистых грунтах это приводит к необратимому образованию в этой зоне пластичного слоя с очень низкой водопроницаемостью. Связано это с физико-механическими свойствами глинистых грунтов, их набухаемостью и размокаемостью (по новой терминологии – растворением). Растворение глинистых грунтов (глины, тяжелые и легкие суглинки) определяется их минералогическим составом. По этой причине в быстроразмокаемых грунтах не следует устраивать системы двустороннего действия с подпочвенным увлажнением. Поскольку при подпочвенном увлажнении с подачей воды из дренажа в корнеобитаемый слой происходит растворение комьев грунта засыпки, то в ней образуется слабопроницаемый экран из-за длительного застаивания воды.

Подобные явления возникают и в торфяных грунтах с высокой степенью разложения, когда торф по своим физическим свойствам становится подобным глине.

Значительные фильтрационные сопротивления создает обычно и кольматация защитно-фильтрационного материала как частицами грунта, так и отложениями соединений железа, особенно при высокой концентрации их в грунтовой воде.

В особенно сложных условиях дренаж работает в замкнутых понижениях, где несмотря на проведение таких мероприятий, как засыпка дренажных траншей фильтрующим материалом (сплошная или прерывистая), кротовый дренаж и глубокое рыхление на фоне керамического дренажа, ожидаемый эффект не достигается. Связано это, с одной стороны, с низкой водоприемной способностью дренажа из керамических труб, а с другой – высокой водной нагрузкой, когда в понижения стекаются поверхностные воды с прилегающих склонов. Низкая водоприемная способность дренажа из керамических труб определяется малой площадью входных отверстий, т.е. зазоров в стыках труб.

Применение ЗФМ в связных грунтах не вызывается необходимостью защиты от заиления частицами грунта полостей дренажных труб. Доказано, что в связных грунтах дренажные полости не заиляются и без применения ЗФМ. Роль защитно-фильтрационного материала здесь другая – повысить водоприемную способность дренажных труб.

Этого можно достичь увеличением эффективного диаметра дрен, который определяется площадью фильтрующей поверхности, непосредственно контактирующей с грунтом, в данном случае – с дренажной засыпкой. Понятие «эффективный» диаметр впервые предложил В.В. Ведерников [3]. Поэтому тонкие фильтрующие обертки, используемые в несвязных грунтах, здесь малоэффективны. Пока не найдено приемлемого материала для этих грунтов. Различные объемные фильтрационные обкладки (солома, мох, вереск, кокосовые волокна) в начальный период после укладки достаточно эффективны. Однако с течением времени эти материалы органического происхождения подвергаются биологическому разложению в течение 6-8 лет в присутствии воздуха и воды и эффективность их снижается [4]. Наиболее долговечный из них – кокосовый со специальной пропиткой, согласно опубликованным данным, служит не более 10-12 лет, но это недостаточно в сравнении со сроком действия дренажа. Стоит задача по созданию более долговечного материала.

Вместе с тем, подбор объемного фильтра для таких условий пока не имеет теоретического обоснования, без которого сложно определить его оптимальные параметры.

Для несвязных грунтов и сыпучих фильтрующих материалов известны аналитические зависимости для расчета дренажа – определения диаметров труб и расстояний между дренами. В связных грунтах используются эти же зависимости, но, как сказано выше, работа дренажа в этих грунтах во многих случаях не соответствует предъявляемым требованиям, т.е. используемые зависимости недостаточно учитывают особенности этих грунтов и роль ЗФМ.

В общем случае приток воды к дрене Q можно выразить уравнением

$$Q = \frac{2 p k H}{\ln \frac{4 t}{D} + C}, \quad (1)$$

где k – коэффициент фильтрации осушаемого грунта;

H – действующий напор;

t – глубина заложения дрены;

D – диаметр дрены;

C – коэффициент несовершенства дрены по характеру вскрытия пласта.

Определение всех обозначений в этой формуле за исключением C достаточно известно. Несвершенство дрены по характеру вскрытия пласта, зависящее от конструкции дрены, обертки ЗФМ для связных грунтов, пока аналитически не определяется.

Несвершенство же ее конструкции без подпора воды внутри трубы проявляется в образовании над ней определенного напора (h_c), как это изображено на рис. 1. Чем несовершеннее конструкция дрены, чем больше гидравлические сопротивления в придренинной зоне, тем больше этот напор (высота нависания). В совершенной дрене, принимаемой в расчетах, $h_c=0$.

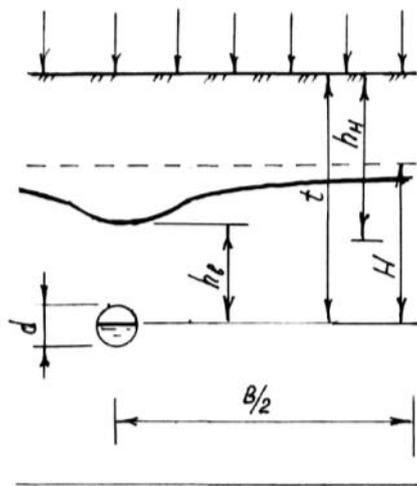


Рис. 1. Несовершенная дрена.
H – действующий напор; *h_n* – норма осушения; *t* – глубина заложения дрены; *d* – диаметр дрены; *h_c* – высота нависания уровня грунтовых вод над дренаем; *B* – расстояние между дренами.

выбора фильтрующих обкладок необходим какой-то обобщенный параметр, учитывающий не только сжатие фильтрующего грунтового потока, но и происходящие в придренной зоне изменения. Таким параметром, в определенной степени, может быть величина контактного сопротивления, предложенная Г.М. Мариупольским.

Так, при одномерной фильтрации через образец грунта высотой (*l*) и площадью (*F*) в соответствии с законом Дарси, по известной аналогии с прохождением электрического тока через проводящую среду, расход можно выразить формулой: $Q_0 = H_0 / R_0$, где R_0 – гидравлическое сопротивление образца грунта, $с/м^2$; H_0 – напор, м.

$$R_0 = \frac{1}{Fk_\phi} \quad (2)$$

Непосредственно в зоне контакта грунта с дренаем, имеющей глухие водонепроницаемые участки, частично перекрывающие поры, возникает добавочное сопротивление

$$R_c = \frac{\omega_c}{F} \quad (3)$$

где ω_c – удельное контактное сопротивление, отнесенное к единице площади и имеющее размерность времени; ω_c может быть как положительным, так и отрицательным числом; k_ϕ – коэффициент фильтрации.

В общем случае

$$Q_0 = \frac{H_0 + H_c}{R_0 + R_c} \quad (4)$$

В пластмассовых трубах и в синтетических защитно-фильтрационных материалах определенную роль может играть гидрофобность, т.е. плохая смачиваемость материала и выделение газов из воды. В придренированной зоне могут возникнуть суффозия с выносом мелких частиц грунта потоком воды в полость дрены и образование слоя повышенной проницаемости из оставшихся более крупных частиц. Все эти факторы влияют на приточность воды к дренам, уменьшая или увеличивая их водозахватную способность.

Учесть все эти изменения математически выражениями пока невозможно из-за сложности и недостаточной изученности этих процессов.

Для практических расчетов, сравнения дренажных конструкций, назначения размеров, вида и площади перфорации дренажных труб,

где H_c – дополнительный напор, необходимый для преодоления сопротивления (R_c) при постоянном расходе (Q_0).

Отсюда для трубчатой дрены диаметром D и длиной L :

$$H_c = \frac{Q_0 \omega_c}{\rho DL} \quad (5)$$

Решив относительно H и представив эти потери напора как сумму потерь для идеальной дрены H_0 и дополнительных потерь из-за ее несовершенства H_c ,

$$H = H_0 + H_c = \frac{Q}{2 \rho K_\phi} \ln \frac{4t}{D} + \frac{Q C}{2 \rho K_\phi} \quad (6)$$

Сравнив (1) и (6), найдем

$$C = \frac{2 k_\phi \omega_c}{D} \quad (7)$$

Величина коэффициента C обусловлена не только несовершенством дрены по гидравлическим параметрам, но и изменениями, происходящими в придренинной зоне, например, фильтрационными деформациями. В этом случае контактное сопротивление ω_c надо рассматривать как некоторую приведенную величину всех добавочных сопротивлений, рассеянных в придренинной зоне неизвестным образом, но условно отнесенных к поверхности контакта.

Величину ω_c можно определить по результатам лабораторных опытов, применив формулу В.В. Ведерникова для «идеальной» подрусловой дрены (рис. 2) [3].

$$Q_0 = \frac{2 \rho k H_0}{\ln \left[\operatorname{tg} \frac{\rho 4t - D}{8 T_i} \operatorname{ctg} \frac{\rho D}{8 T_i} \right]} \quad (8)$$

где T_i – мощность водопроницаемого слоя, м.

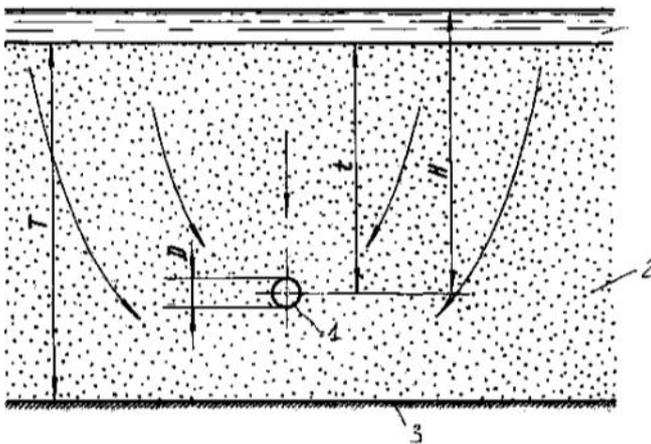


Рис. 2. Схема грунтового лотка для испытаний дренажных конструкций по принципу подрусловой дрены

Эта формула тщательно проверялась методом ЭГДА и показала удовлетворительную точность при

$$D/T_i \leq 0,15 \text{ и } D/t \leq 0,5. \quad (9)$$

Подставив в эту формулу значения H_c , найдем приток к дрене длиной L :

$$Q = \frac{2\pi kHL}{\frac{2k\omega_c}{D} + \ln \left[\operatorname{tg} \frac{\pi}{8T_1} \frac{4t - D}{8T_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_1} \right]}. \quad (10)$$

Численные значения контактных сопротивлений сложных дренажных конструкций можно определить по данным лабораторных опытов, используя зависимость (10). Если провести опыты в грунтовом лотке, параметры которого удовлетворяют условиям (9) и соответствуют схеме подрусловой дрены, то можно определить и оценить степень их совершенства по характеру вскрытия пласта.

$$\omega_c = d \left(\frac{\pi HL}{Q} - \frac{1}{2k} \ln \left(\operatorname{tg} \frac{\pi}{8T_1} \frac{4t - D}{8T_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_1} \right) \right). \quad (11)$$

Из формулы Дарси следует

$$H = \frac{vl}{k}, \quad (12)$$

где v – скорость фильтрации.

Потери напора вследствие контактных сопротивлений

$$H_c = \frac{Q\omega_c}{F} = v\omega_c. \quad (13)$$

Тогда общие потери напора

$$H = H_o + H_c = v \left(\frac{l}{k} + \omega_c \right). \quad (14)$$

Формула (14) позволяет выяснить физическую сущность удельных контактных сопротивлений (ω_c) и объясняет, почему они имеют размерность времени. Если отношение l/k_ϕ в этой формуле определяет время движения частицы жидкости через образец длиной l при градиенте напора равном 1, то ω_c определяет дополнительные затраты времени вследствие контактных сопротивлений и его можно представить в виде удлинения пути фильтрации на фиктивное расстояние l_ϕ :

$$\omega_c = \frac{l_\phi}{k_\phi}. \quad (15)$$

Тогда

$$l_\phi = \omega_c k_\phi. \quad (16)$$

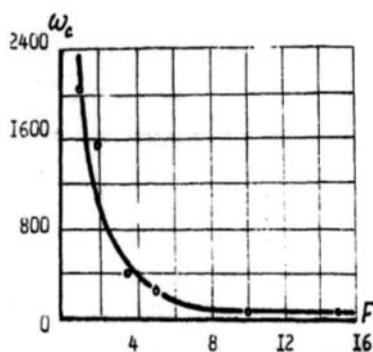


Рис.3 Зависимость ω_c от площади входных отверстий F , cm^2/m

Фильтрующий элемент с высоким контактным сопротивлением можно представить как идеальный, т.е. без контактных сопротивлений, но с дополнительным путем фильтрации (l_{ϕ}).

Проведенными в грунтовой лотке (длина 5,6 м, ширина 0,5 м, высота 1,0 м), заполненной среднезернистым песком, опытами установлена зависимость удельного контактного сопротивления от площади перфорации (рис. 3), которая показывает, что с увеличением площади перфорации контактные сопротивления резко уменьшаются, и в дренажной трубе диаметром 50 мм вполне достаточна площадь входных отверстий 10-15 cm^2/m . Последующие опыты подтвердили эти выводы.

В дренаже из керамических труб (гончарном) площадь зазоров в стыках, через которые вода поступает в трубы, не превышает 4 cm^2/m , что во многом объясняет низкое осушительное действие дренажа. Однако следует отметить, что в лабораторных опытах практически невозможно спрогнозировать все процессы и явления, происходящие в дренаже в натуральных условиях в течение длительного срока его действия (25 лет и более). За этот период в придренной зоне могут произойти существенные изменения, в результате которых контактные сопротивления неизбежно возрастут из-за коагуляции и обрастания входных отверстий трубы различными водными организмами. Поэтому в современных пластмассовых дренажных трубах, использу-

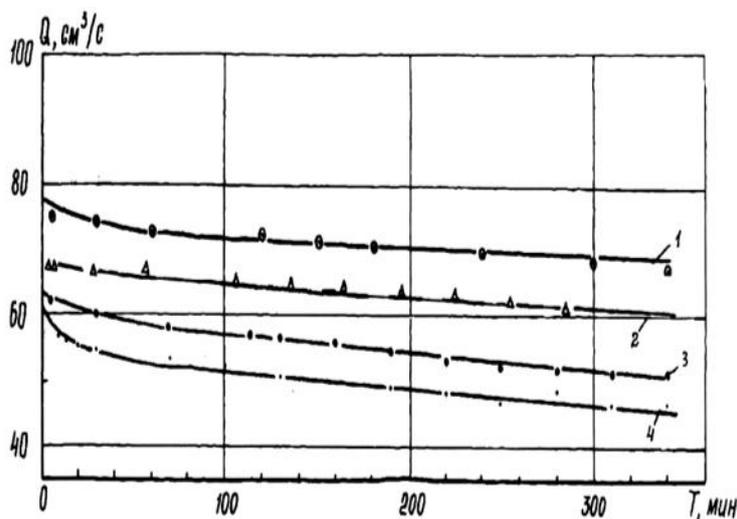


Рис. 4. Изменение стока из дрен с различными фильтрационными материалами.
1 – солома толщиной 2,5 см; 2 – нетканое полотно из лавсана; 3 – стеклохолст ВВ-АМ;
4 – нетканое полотно из лавсана с пропиткой.

мых при реконструкции систем, минимальная площадь входных отверстий должна быть не менее 20 см²/м, т.е. с двойным запасом. Результаты опытов в грунтовом лотке с различными фильтрационными материалами представлены на рис. 4. Из графика видно, что по фильтрационным характеристикам наиболее подходящим материалом является солома. Нужен аналогичный, но более долговечный материал, возможно, нетканое полимерное полотно с волокнами диаметром в 10-20 раз больше, чем известные, например, иглопробивные материалы.

Выводы

1. В связных грунтах главной задачей защитно-фильтрующих материалов является повышение водопримной способности путем увеличения эффективного диаметра дрены за счет применения объемных фильтрующих материалов.

2. Известные объемные фильтры из органических материалов недолговечны, а гравийно-песчаные засыпки значительно увеличивают стоимость дренажа. Требуется разработка новых эффективных материалов для объемных дренажных фильтров.

3. Площадь водопримных отверстий дренажных труб должна быть не менее 10 см²/м, а с учетом срока службы дренажа – не менее 20 см²/м. Дренаж из керамических труб не удовлетворяет этим условиям и его не следует использовать при реконструкции осушительных систем. Наиболее целесообразно использовать пластмассовые дренажные трубы из поливинилхлорида или полиэтилена.

Литература

1. Азява, Г. В. Опыт проектирования мелиоративных систем на тяжелых грунтах. / Г. В. Азява // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – №6. – С. 12-15.
2. Томсон, Х. Осушительная способность дренажа на глинистых почвах Эстонии. / Х. Томсон // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – №10. – С. 37-39.
3. Ведерников В.В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. / В.В. Ведерников. – М.: Госстройиздат, 1939.
4. Кожушко, Л.Ф. Физические параметры и эффективность органических дренажных фильтров. / Л. Ф. Кожушко, А. П. Римидис // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – №2. – С. 30-31.

Summary

Klimkov V., Kazmiruk I., Mitrakhovich A. Reconstruction Features of Drainage Works in Cohesive Soils

Stated: features of drainage work in cohesive soils. Given: characteristics of processes and effects connected with physical and mechanical properties of clay soils. Shown: function of protective-filter materials in drainage work. Presented: analytic dependences for estimation of drainage parameters in cohesive soils with respect to imperfection of absorbing wells and contact strength structures. Assigned: water intake power of absorbing wells in cohesive soils can be increased with the use of depth filters. At drainage reconstruction it is recommended to use plastic pipes with the area of water intake holes being no less than 20 cm²/m.

Поступила 27 декабря 2007 г.