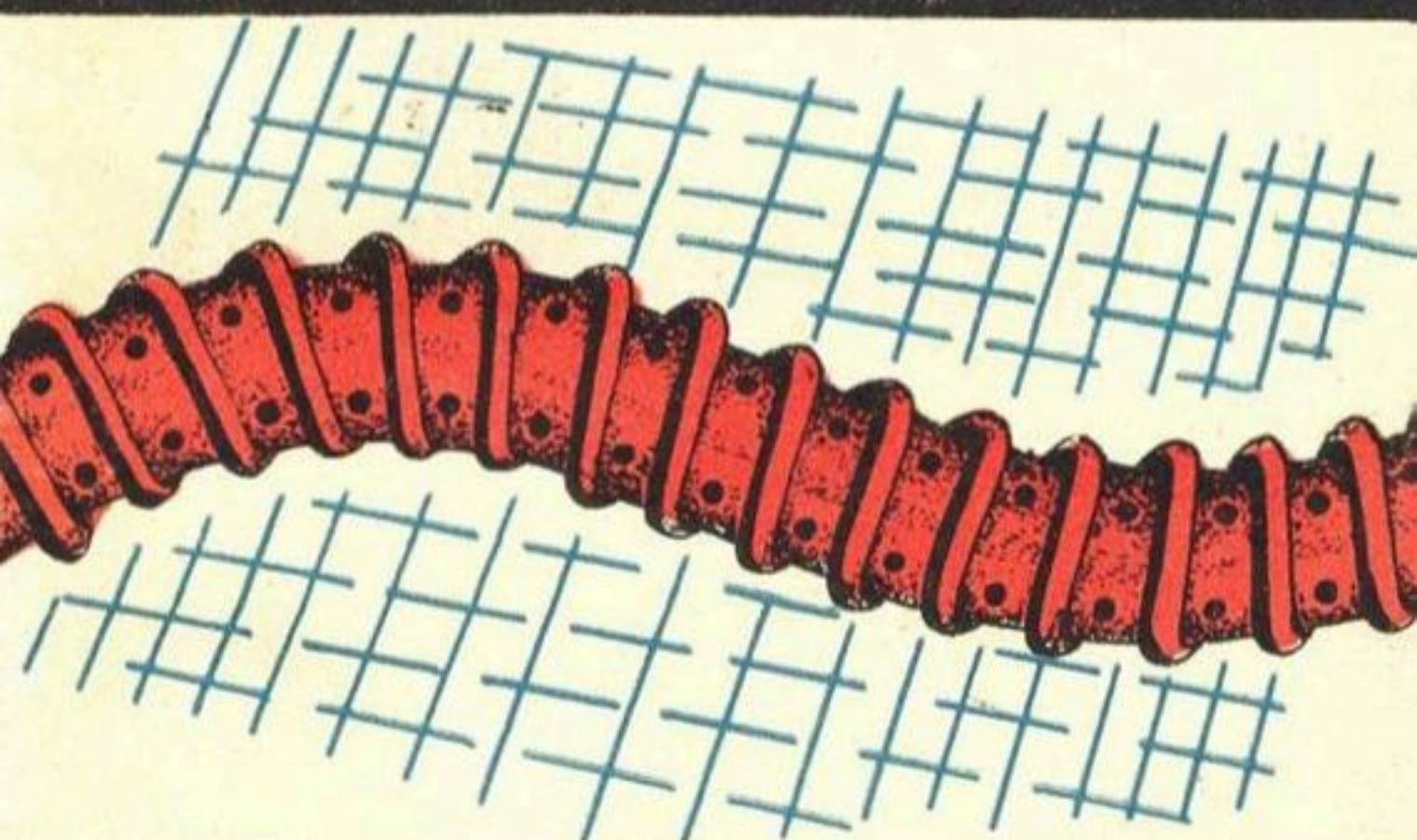


А. И. МУРАШКО

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПЛАСТМАССОВЫЙ ДРЕНАЖ



А. И. МУРАШКО

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПЛАСТМАССОВЫЙ ДРЕНАЖ

(расчеты и строительство)



Издательство „Ураджай“ ● Минск 1973

МУРАШКО А. И.

М91 Горизонтальный пластмассовый дренаж. Мн.,
«Ураджай», 1973. 208 стр. с илл., 2800 экз., 41 коп.

В книге изложены основные положения по проектированию пластмассового дренажа на осушаемых землях; приведены методы гидравлических и прочностных расчетов гладкостенных и гофрированных трубопроводов из полимерных материалов, а также методы расчета расстояний между дренами с учетом конструктивных параметров труб и влияния защитных фильтров; даны способы строительства пластмассового дренажа в летних и зимних условиях.

Книга послужит практическим пособием инженерно-техническим и научным работникам, занимающимся проектированием, строительством и исследованиями в области сельскохозяйственной мелиорации.

631.6

При осушении избыточно-увлажненных сельскохозяйственных угодий повышение удельного веса закрытого трубчатого дренажа — неотложная задача. В текущем пятилетии и в перспективе на 15 лет намечается значительное увеличение объемов дренажных работ, что потребует многократного увеличения производства труб, парка дреноукладочных машин, трудовых ресурсов и капиталовложений.

Применяемый более 100 лет гончарный дренаж наряду с многими положительными качествами имеет ряд существенных недостатков: трудоемкая и очень высокая стоимость доставки керамических трубок на объекты строительства, довольно низкая производительность труда при их укладке, необходимость большого количества рабочих и относительно тяжелые условия труда. По мере роста объема дренажных работ все перечисленные трудности усугубляются.

Существенным качественным скачком в области дренирования сельскохозяйственных угодий является замена гончарного дренажа пластмассовым и применение других новых материалов. При этом значительно увеличивается производительность дреноукладочных машин, сокращается количество занятых рабочих и они освобождаются от тяжелого ручного труда, многократно уменьшается тоннаж перевозок и транспортные расходы. Применение полимерных и других новых материалов в мелиоративном строительстве уже вышло из стадии экспериментирования и поисковых разработок. В настоящее время изделия из пластмасс широко внедряются на строительстве осушительных и осушительно-увлажнительных систем. Пластмассовым дренажем в СССР осушено более 50 тыс. га. Строительство его осуществляется в Белоруссии, Прибалтике, северо-западных и центральных районах РСФСР, Средней Азии, на Украине и Дальнем Востоке. Стекловолоконные холсты сейчас самые распространенные фильтры для защиты дренажа от заиления. Напорные пластмассовые трубопроводы все шире применяются в закрытых дождевальных системах.

Широкое внедрение новых материалов в мелиоративном строительстве требует, прежде всего, разработки методов проектирования и расчетов, а также технологии и организации строительного процесса. Изданная нами в 1969 г. монография «Пластмассовый дренаж» явилась первой попыткой обобщить предыдущие (до 1968 г.) исследования по применению полимеров в осушительной мелиорации. За истекший период в СССР и за рубежом проведены обширные научные разработки, получены новые, более экономичные решения, появились более совершенные конструкции труб, высокопроизводительные дреноукладочные машины, накоплен значительный практический опыт. Данная работа посвящена в основном методам проектирования и расчетов закрытого трубчатого дренажа из полимерных материалов. В ней обобщен опыт по технологии и организации строительного процесса, приведены результаты длительных наблюдений за его работой и устойчивостью.

§ 1. Конструкции дренажных труб из полимерных материалов

Для изготовления дренажных труб используют многие полимерные материалы. Но наибольшее распространение получили трубы из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ), а также свето- и теплостабилизированного полиэтилена высокой и низкой плотности (ПВП и ПНП). Известны трубы из винидура, полипропилена, пленочного винипласта, наполненных композиций НПВХ, ПВП и ПНП. Однако они не получили заметного распространения.

Полимерные материалы (пластмассы) — высокомолекулярные органические соединения, обладающие достаточно высокой механической прочностью, упругостью и термостойкостью. В их состав входят связующее, пластификаторы, наполнители, красители и добавки специального назначения: стабилизаторы, повышающие устойчивость против «старения», фунгисиды против грибов и бактерий, одораторы для отпугивания грызунов и др. Основным сырьем для изготовления пластмасс служат природные и попутные нефтяные газы, отходы нефтяной и деревообрабатывающей промышленности. Отечественная сырьевая база в этом смысле практически неисчерпаема.

Полиэтилен — воскоподобный, но достаточно прочный материал, при обычных температурах сочетает в себе прочность и твердость с эластичностью. В равных условиях ПВП более прочный и плотный, но менее эластичный материал, чем ПНП. При длительном воздействии нагрузок полиэтилен способен деформироваться во времени. Свойства его ухудшаются от действия повышенных температур, атмосферных воздействий и других факторов. Он устойчив к большинству минеральных кислот, органических жидкостей, оснований и растворов солей.

Непластифицированный (твердый или жесткий) поливинилхлорид обладает более высокими прочностными

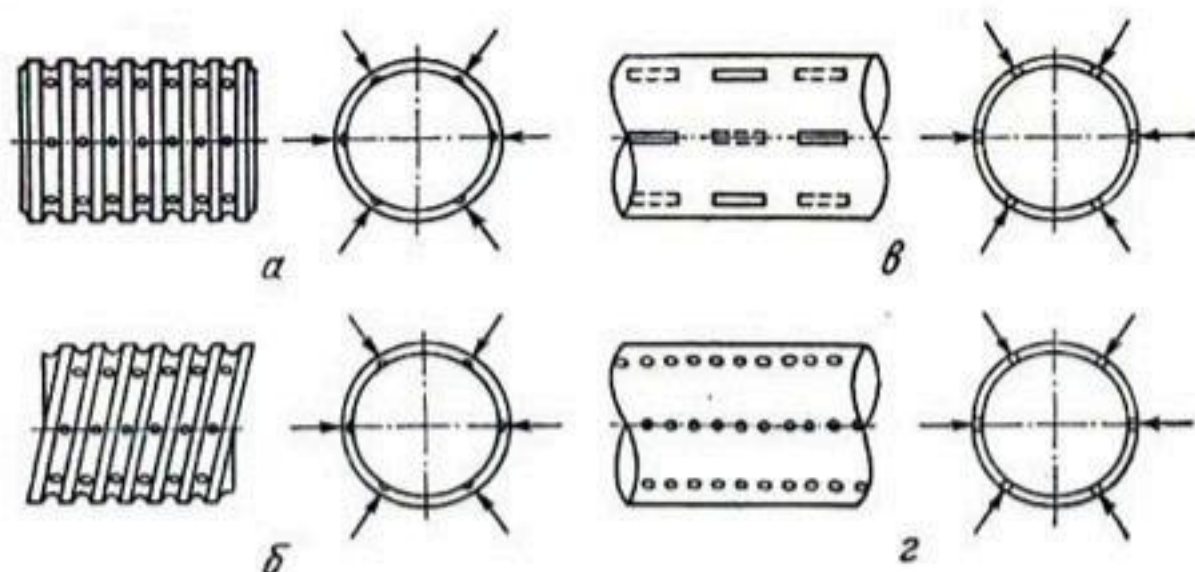


Рис. 1. Схема конструкций пластмассовых дренажных труб, выпускаемых в СССР:

а — с кольцевыми замкнутыми гофрами и круглыми отверстиями по впадинам; *б* — то же, с винтовыми гофрами; *в* — гладкостенные с продольно-параллельными щелями; *г* — то же, с круглой перфорацией.

характеристиками, чем полиэтилен, но более хрупкий и снижает прочность на удар при низких температурах. Основные физико-технические свойства ПВХ, ПНП и НПВХ (винипласта) приведены в приложении I.

Мировая мелиоративная практика знает цельнотянутые и пленочные пластмассовые дренажные трубы самых разнообразных конструкций. Первые изготовляют мето-

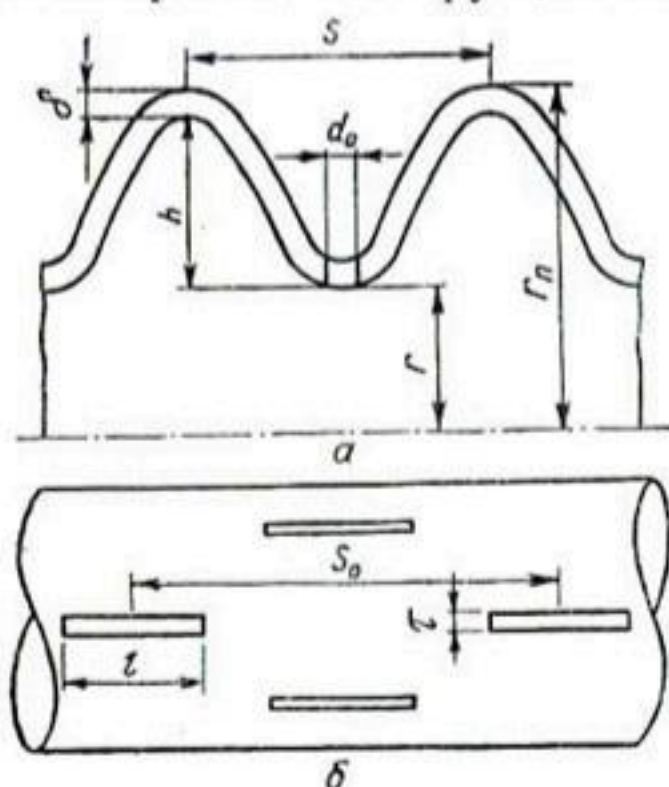


Рис. 2. Расположение перфорации и принятые обозначения:

а — в гофрированных трубах;
б — в гладкостенных,

дом непрерывной шнековой экструзии с последующим устройством водоприемных отверстий различной формы и размеров; вторые получают путем сворачивания в трубку винипластовой ленты. Экструдированные трубы изготавливают на заводах пластмассовых изделий и транспортируют к месту строительства дренажа полностью готовыми для укладки в грунт. Пленочные дела-

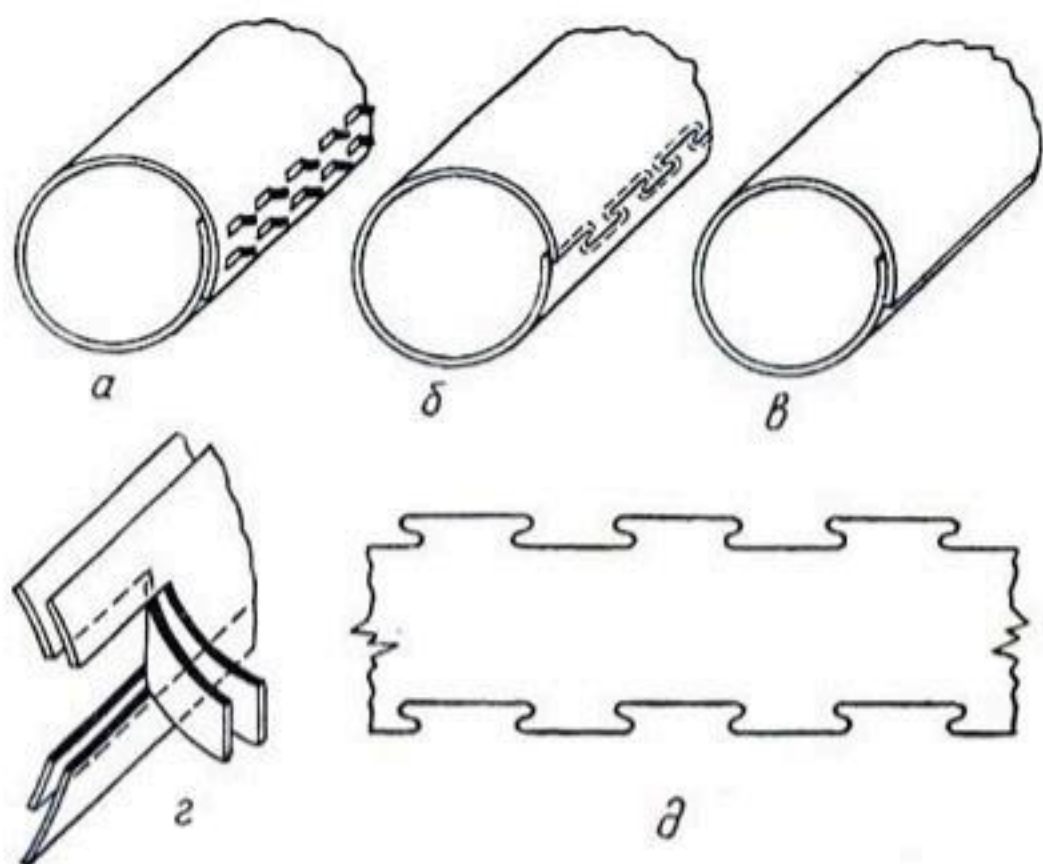


Рис. 3. Схема конструкций пленочных дренажных труб:

a — из винилпластовой каландрированной пленки с соединением швов типа «строчка»; *b* — то же, типа «молния»; *в* — то же, типа «нахлестка»; *г* — деталь трубы типа «строчка»; *д* — заготовленная лента для трубы «молнии».

ют на месте строительства из предварительно нарезанных лент, свернутых в бабины. Операцию изготовления труб и их укладку в грунт обычно совмещают и выполняют одним рабочим органом.

В дренажном строительстве СССР применяются преимущественно гофрированные трубы из ПВХ. Производят их Борисовский и Вильнюсский заводы пластмассовых изделий (БЗПИ и ВЗПИ). Трубы БЗПИ имеют кольцевые (замкнутые) гофры полукруглого и коробчатого профиля, выпускаются диаметром 50, 80, 100 и 125 мм. Перфорационные круглые отверстия диаметром $d_0 = 1,4 \pm 0,1$ мм расположены в 6 рядов во впадинах гофров. Конструкции труб и технические условия на их изготовление (ВТУ 3-3—68) разработаны автором. В дальнейшем они называются «трубы БелНИИМиВХ». ВЗПИ выпускает трубы диаметром 50, 63 и 75 мм, гофры их синусоидального профиля идут по винтовой линии. Перфорация такая же, как и в трубах БелНИИМиВХ; технические условия на изготовление разработаны НИИПМ (Д. Ф. Каган, Г. И. Шапиро). В дальнейшем они называются «трубы НИИПМ». Конструкции гоф-

рированных труб представлены на рис. 1, сортаменты — в приложении II и III.

Зарубежные мелиораторы применяют в основном гофрированные трубы из НПВХ с замкнутыми (кольцевыми) гофрами и короткими продольными щелями на внутренних или наружных выступах; с гофрами, идущими по одно- или двухзаходной винтовой линии (продольные щели расположены на внутренних выступах), и такие же трубы с короткими поперечными щелями. Особенности конструкций указанных труб характеризуются в приложении IV. Очертание гофров принимается по синусоиде, прямоугольнику, двум полуокружностям или трапеции. Абсолютные значения высоты гофра h , шага S (рис. 2) и их соотношения колеблются в больших пределах $\left(1,5 \leq h \leq 6 \text{ мм}, 4,5 \leq S \leq 12 \text{ мм}, 1,4 \leq \frac{S}{h} \leq 6\right)$.

Наряду с гофрированными широко применяются гладкостенные трубы. В СССР они выпускаются с продольно-щелевой или круглой перфорацией. Схемы конструкций гладкостенных дренажных труб, выпускаемых за рубежом, дана в приложении V.

Раньше других в мелиоративном строительстве начали использовать пленочные трубы типа «нахлестка», «молния» и «строчка» (рис. 3); укладывают их бестраншейным способом. Однако они не получили широкого распространения по многим причинам, основными из которых являются недостаточная прочность и малая водозахватная способность. При дождевании, подпочвенном орошении и обводнении пастбищ иногда применяют напорные пластмассовые трубы. В СССР такие трубы выпускают четырех типов: легкий (Л), рассчитанный на максимальное рабочее давление $2,5 \text{ кг/см}^2$; среднелегкий (СЛ) — 4; средний (С) — 6 и тяжелый (Т) — 10 кг/см^2 . Сортаменты их представлены в приложении VII, VIII и IX, стоимость — в приложении X. Маркируют трубы по наружному диаметру и толщине стенки. Например, выражение «труба 75×2 » означает, что наружный диаметр ее 75, а толщина стенки 2 мм. С изменением толщины стенки меняется внутренний диаметр, а наружный остается постоянным. Допускаемое отклонение от величины диаметра и толщины стенок для всех пластмассовых труб может быть только в сторону увеличения. Срок службы напорных труб принимается равным 50 [19], дренажных — 30 годам [84].

Применяемые в мелиоративном строительстве конструкции труб отличаются как по форме стенок и виду перфорации, так и материалу, из которого они изготовлены. Обусловлено это, с одной стороны, поисками наиболее оптимальных и экономичных конструкций, с другой — отсутствием теоретических решений и недостаточностью практического опыта.

§ 2. Несовершенство водоприемной поверхности дренажных труб

Расчет расстояний между дренажными линиями на осушаемых землях неразрывно связан прежде всего с установлением закономерностей движения воды в почвогрунтах. При этом большую роль играют конструктивные параметры дренажных труб и защитные фильтры. Вторым аспектом данной проблемы является разработка наиболее рациональных конструкций дрен. Решение указанных вопросов базируется на теории фильтрации, основные положения которой и ее практические приложения разработаны Н. Е. Жуковским, Н. Н. Павловским, П. Я. Полубариновой-Кочиной, А. Н. Костяковым, С. Ф. Аверьяновым, В. В. Ведерниковым, Н. Н. Веригиным. Существенный вклад внесли зарубежные ученые — М. Маскет, Д. Кирхгэм, Е. Чайльдс и др. Абсолютное большинство имеющихся решений предложено для случая «идеальной» или совершенной дрены, под которой понимается пористая дренажная труба, а точнее, труба без стенок. Практически все применяемые в настоящее время дренажные трубы имеют нефилтрующие стенки, а грунтовая вода поступает в них через стыковые зазоры, или перфорационные отверстия. Называют их «несовершенными по характеру вскрытия пласта». Под этим термином понимают форму и степень вскрытия поверхности дрены.

Степень несовершенства конструкции дренажной трубы определяет величину добавочных сопротивлений, вызываемых сгущением линий токов у водоприемных отверстий, повышением скорости фильтрации и возрастанием градиентов давлений. Как следствие, водозахватная (водоприемная) способность «несовершенной по характеру вскрытия пласта» дрены меньше, чем «идеальной». Важнейшей особенностью пластмассовых дренажных

труб является возможность и относительная простота создания такой водоприемной поверхности, которая позволяет им по водозахватной способности мало отличаться от «идеальной» (пористой) дрены. Несмотря на довольно продолжительное и широкое применение пластмасс, вопрос о наиболее рациональных (в смысле перфорации) конструкциях труб пока не решен ни экспериментально, ни теоретически. Этим объясняется многообразие известных конструктивных решений устройства перфорации в трубах и отсутствие методов расчета расстояний между дренами.

В настоящее время пластмассовый дренаж проектируют и укладывают по нормативам гончарного. Однако такое положение нельзя считать вполне правильным. Одни конструкции пластмассовых дренажных труб, как будет показано ниже, по водозахватной способности значительно уступают гончарным, поэтому расстояния между ними должны быть уменьшены. Другие — значительно превосходят гончарный дренаж, и расстояния между ними следует увеличить.

Задача о притоке воды к перфорированным дренажным трубам, расположенным в радиальном потоке, в общем случае является пространственной. Общее уравнение фильтрации в цилиндрических координатах имеет вид

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad (I.1)$$

где $\varphi = -k_\phi h$ — потенциал скорости фильтрации;

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}.$$

Для дренажной трубы, перфорированной прерывистыми щелями, расположенными вдоль образующей в несколько рядов по окружности трубы, уравнение (I.1) нужно решать при следующих граничных условиях (в обозначениях рис. 4):

$$r = R : h = H;$$

$$r = r_0, \quad -\beta \leq \theta \leq \beta, \quad -l_1 \leq y \leq l_1 : h = 0;$$

$$r = r_0, \quad \left| \begin{array}{l} -\alpha \leq \theta \leq \alpha; \quad -(S_1 - l_1) \leq y \leq (S_1 - l_1) \\ -(\alpha - \beta) \leq \theta \leq (\alpha + \beta), \quad -l_1 \leq y \leq l_1 \end{array} \right| : \frac{\partial h}{\partial r} = 0; \quad (I.2)$$

$$y = \pm S_1 : \frac{\partial h}{\partial y} = 0;$$

$$\theta = \pm \alpha : \frac{\partial h}{\partial \theta} = 0,$$

где $2\alpha = \frac{2\pi}{m}$, m — число рядов перфорации по окружности трубы. Точных решений задачи (1.1—1.2), приемлемых для практики, пока нет.

Приток воды к несовершенной по степени вскрытия пласта горизонтальной дрене обычно отождествляют с притоком к несовершенной (в том же смысле) вертикальной скважине. Общность состоит в радиальном характере течения, что объясняется линейным характером стоков и заменой их цилиндрической поверхностью скважины или дрены. Все это дает возможность применить к горизонтальным дренам способ учета дополнительных сопротивлений, разработанный для скважин. Прием аналогии с радиальным потоком широко используют при решении задач горизонтального дренажа А. Н. Костяков, С. Ф. Аверьянов, Д. Кирхгэм, Ф. Энгелунд и др. Приток к одиночной горизонтальной пористой дрене при круговом контуре питания определяют по аналогии с притоком к вертикальной скважине зависимостью

$$Q_0 = \frac{2\pi k_\phi H L}{\ln \frac{R}{r_0}} = \frac{2\pi k_\phi H L}{\ln \frac{4l}{D}}, \quad (1.3)$$

где H — действующий напор;
 l — глубина заложения дрены;
 k_ϕ — коэффициент фильтрации грунта;
 R — радиус влияния;
 r_0 — радиус дренажной трубы;
 L — длина дрены.

Фактический приток Q_i к несовершенной по характеру вскрытия пласта дрене меньше определяемого уравнением (1.3) и на единицу длины выражается [18] зависимостью

$$Q_i = \frac{2\pi k_\phi H}{\ln \frac{4l}{D} + C_i}, \quad (1.4)$$

где C_i — коэффициент, учитывающий несовершенство дрен по характеру вскрытия пласта.

Величина коэффициента C_i зависит от формы, размеров и количества перфорационных отверстий, или щелей, на единицу длины дрены. Для пористой дрены $C_i=0$, для стыкующихся коротких трубок с непроницаемыми стенками или перфорированных труб $C_i>0$ и $Q_i<Q_0$.

Таким образом, решение задачи о притоке воды к несовершенной по характеру вскрытия пласта дрене сводится к определению величины коэффициента C_i . Этому вопросу посвящен ряд работ [18, 23, 48, 58].

М. Маскет [79] для труб с продольно-параллельными щелями шириной $\tau=2l_0$ (рис. 4) и длиной $l=2l_1$, расположенными по образующим с расстоянием (шагом) $S=2S_1$ в m рядов по окружности трубы, получил следующую зависимость:

$$C_{\text{щ}} = \frac{1}{m} \left[2 \sum_{n=1}^{\infty} K_0(2\pi n \rho_n) \frac{\sin 2\pi n h}{2\pi n} + \right. \\ \left. + 2 \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{n=1}^{\infty} K_0(4\pi n \rho_c) \sin \frac{\theta_i}{2} \times \frac{\sin 2\pi n h}{2\pi n} + \right. \\ \left. + \ln \frac{\rho_w}{\rho_n} - \sum_{i=1}^{m-1} \ln 2 \sin \frac{\theta_i}{2} \right]. \quad (I.5)$$

Для труб с круглой перфорацией диаметром d_0

$$C_0 = \frac{1}{m} \left[2 \sum_{n=1}^{\infty} K_0(2\pi n \rho_n) + 2 \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{n=1}^{\infty} K_1(4\pi n \rho_w) \sin \frac{\theta_i}{2} \times \right. \\ \left. \times \cos \frac{2\pi n l}{m} + \ln \frac{\rho_c}{\rho_n} - \sum_{i=1}^{m-1} \ln 2 \sin \frac{\theta_i}{2} \right], \quad (I.6)$$

где

$$h = \frac{l}{2S_1}; \quad \rho_n = \frac{\tau}{2S_1} = \frac{d_0}{2S_1}; \quad \rho_c = \frac{r_0}{S_1}; \quad \rho_w = \frac{R}{S_1}.$$

$K_0(2\pi n r_n)$ и $K_1(4\pi n r)$ — функции Бесселя третьего рода нулевого и первого порядка от мнимого аргумента;
 θ_i — угол, образующийся между осью z и i -тым рядом перфорации.

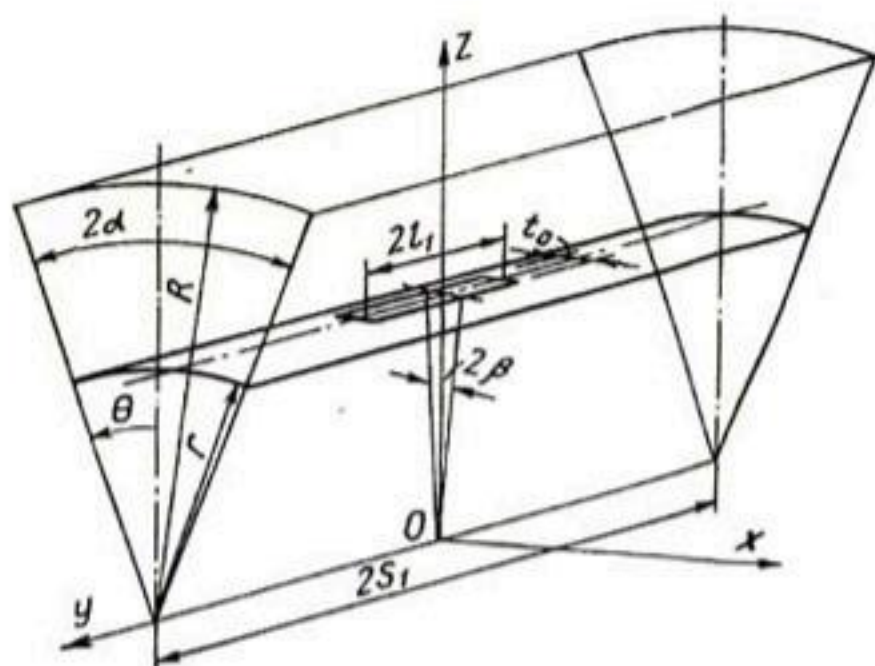


Рис. 4. Расчетная схема.

Практическое вычисление коэффициентов C_i по уравнениям (1,5) и (1,6) сопряжено с существенными трудностями: в некоторых случаях для получения удовлетворительных результатов необходимо брать более 150 членов ряда. В. И. Щуров [58] после определенных упрощений и интерполяции, позволивших достаточно точно просуммировать ряды в выражениях (1,5) и (1,6), предложил для изотропной пористой среды следующие эмпирические зависимости:

$$C_{\text{щ}} = \frac{(10\tau^{-0,98} + 80) \left(\frac{l}{60} \right)^{1,3}}{N^{(1,086 + 0,004\tau^2)}}, \quad (1.7)$$

$$C_{\text{отв}} = \frac{49,4 (1,012d_0^{-1,82} + 1)}{N^{(0,0066 d_0^{4,5} + 1,033)}}, \quad (1.8)$$

где l — длина щели, мм;
 τ — ширина щели, мм;
 d_0 — диаметр перфорационных отверстий, см;
 N — число перфораций на 1 пог. м трубы;

$$N = \frac{100m}{S}, \quad (1.9)$$

где m — число рядов перфорации;

S — расстояние между осями отверстий в ряду (шаг перфорации), см.

Формула (1.7) дает наилучшие результаты при $50 < l < 70$ и $0,25 < \tau < 2$ мм. Формула (1.8) точные результаты дает при $3 < N < 150$. Ц. Додсон и В. Кардвел [66] с целью упрощения решений предположили, что щели распространены по всей длине трубы ($l = S$). Это позволило уравнение (1.1) привести к двухразмерному и решать методом конформных преобразований. Ими предложено следующее выражение для C_l :

$$C_{\text{щ}} = \frac{2}{m} \ln \frac{2}{\pi \Omega}, \quad (1.10)$$

где $\Omega = \frac{\beta}{\alpha}$ (см. рис. 4).

По Н. Т. Эфендиеву [59] для стыкующихся непроницаемых гончарных трубок

$$C_r = \frac{1}{\pi} \ln \frac{4S_1}{D} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi \tau_1}{2S_1}}, \quad (1.11)$$

где S_1 — длина гончарных трубок;

τ_1 — ширина щели в стыке.

Известен ряд других предложений по определению коэффициента несовершенства дренажных труб по характеру вскрытия пласта.

§ 3. Приток воды к дренажным трубам с продольным разрезом (щелью)

За рубежом и в СССР первый пластмассовый дренаж был построен из пленочных труб типа «нахлестка», «молния» и «строчка». С конструктивной точки зрения все эти трубы можно рассматривать как имеющие один сплошной разрез определенной ширины, через который грунтовая вода поступает в дрены [33]. Несмотря на более чем 15-летнее применение таких труб, пока нет расчетных

зависимостей для определения водозахватной способности их и расстояний между дренами. Имеющиеся экспериментальные данные весьма разноречивы. Одни авторы [6, 74, 80] утверждают, что приток к пленочным дренам больше, чем к гончарным; другие [16, 54] говорят об обратном. Обусловлено это несовершенством экспериментов или несоблюдением идентичных условий, а также отсутствием теоретических решений. Предположим, что дренажная труба, имеющая одну сплошную продольную щель, расположена в радиальном потоке (рис. 5а). Задача о притоке воды к такой дрене является плоской и симметричной относительно оси x -ов. Общее уравнение плоской задачи фильтрации в полярных координатах имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} \right) = 0. \quad (I.12)$$

Уравнение (I.12) нужно решать при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} &1) \ r=R : h=H; \ 2) \ r=r_0, \ -\frac{\gamma}{2} \leq \theta \leq \frac{\gamma}{2} : h=0; \\ &3) \ r=R : \frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0; \ 4) \ r=r_0, \ \frac{\gamma}{2} < \theta < -\frac{\gamma}{2} : \frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0. \end{aligned} \quad (I.13)$$

Как известно, решение задач (I.12) и (I.13) представляет значительные математические трудности. Нами применен метод последовательных конформных отображений. Учитывая симметрию движения грунтового потока, достаточно рассмотреть только верхнюю половину области фильтрации (рис. 5б) и полученный результат удвоить. Применим следующую последовательность решения:

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

$$\omega = A \ln z + B, \quad (I.14)$$

$$z = x + iy; \ \omega = u + iv;$$

где A и B — постоянные.

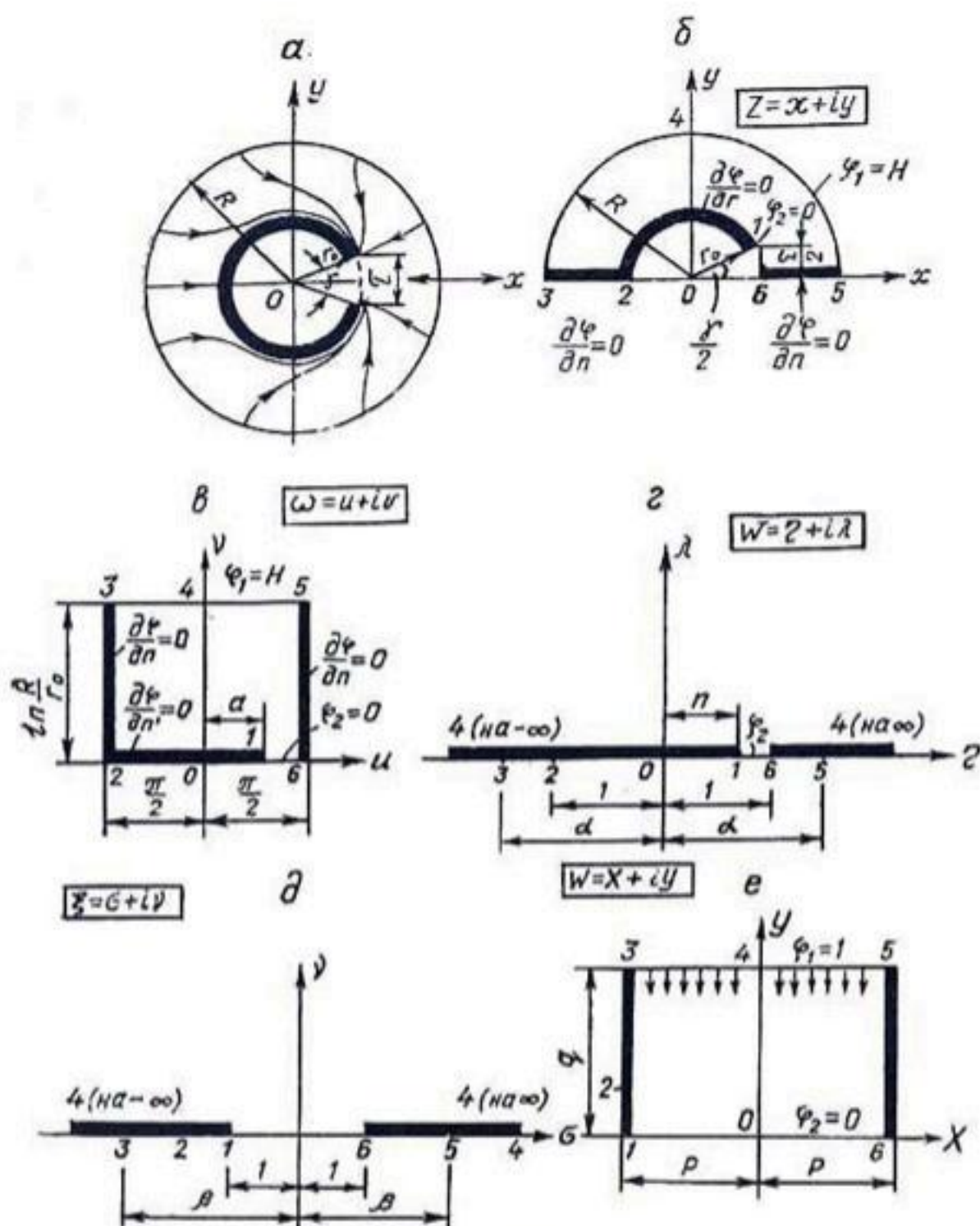


Рис. 5. Расчетная схема:

а — область фильтрации; б — расчетная область фильтрации; в — промежуточный прямоугольник; г — первая промежуточная полуплоскость; д — вторая промежуточная полуплоскость; е — нормальный прямоугольник.

Определив из соответствия точек значения постоянных A и B , получим

$$\omega = \frac{\pi}{2} + i \ln \frac{z}{z_0}.$$

2. Промежуточную плоскость фильтрации 2—3—5—6, представляющую собой прямоугольник со сторонами π и $\ln \frac{R}{r_0}$, отобразим на вспомогательную полуплоскость w

(рис. 5, з) так, чтобы начало координат совпало, а точка 4, где $\omega = i \ln \frac{R}{r_0}$, перешла в бесконечность плоскости ω . По формуле Кристоффеля—Шварца получим

$$\omega = A_1 \int_0^{\omega} \frac{dw}{V(1-w^2)(\alpha^2-w^2)} + B_1. \quad (I.15)$$

Имеем эллиптический интеграл первого рода при модуле $k = \frac{1}{\alpha}$. В более сокращенной форме его можно записать так:

$$\omega = A_1' F(\varphi, k) + B_1.$$

Здесь $\varphi = \arcsin \omega$;

ω — переменная эллиптического интеграла.

Определив постоянные из соответствия точек, найдем

$$\frac{K}{K_1} = \frac{\pi}{2 \ln \frac{R}{r_0}}, \quad (I.16)$$

где K и K_1 — полные эллиптические интегралы соответственно при модулях

$$k = \frac{1}{\alpha} \text{ и } k' = \sqrt{1 - k^2}.$$

3. Отобразим промежуточную полуплоскость ω на полуплоскость ξ так, чтобы точки 1 и 6 были симметричны относительно начала координат, т. е. сделаем так называемое симметризирующее преобразование [49]. Потребуем, чтобы при этом преобразовании точка 6 осталась на расстоянии 1 от начала координат (рис. 5 д). Искомое отображение осуществим с помощью дробно-линейной функции

$$\xi = \frac{\beta(\omega + c\alpha^2)}{\alpha(c\omega + 1)}. \quad (I.17)$$

При этом коэффициент β найдем по зависимости

$$\beta = \frac{n \sqrt{\alpha^2 - 1} + \sqrt{\alpha^2 - n^2}}{\alpha (\sqrt{\alpha^2 - n^2} - \sqrt{\alpha^2 - 1})}, \quad (I.18)$$

где

$$\alpha = \operatorname{ch} \ln \frac{R}{r_0}, \quad n = \cos \left(\arcsin \frac{\tau}{2r_0} \right). \quad (\text{I.18'})$$

4. Отобразим плоскость нормального прямоугольника W со сторонами $2p$ и q на верхнюю полуплоскость ξ так, чтобы начало координат совпало, а точка b перешла в правый край щели. По формуле Кристоффеля—Шварца

$$W = A_2 \int_0^\xi \frac{d\xi}{V(1-\xi^2)(\beta^2-\xi^2)} + B_2, \quad (\text{I.19})$$

или

$$W = A_2' F(\varphi, k_1) + B_2,$$

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

$$k_1 = \frac{1}{\beta}, \quad \varphi = \arcsin \xi.$$

После определения постоянных получим

$$\frac{p}{q} = \frac{K_1}{K_1'}, \quad (\text{I.20})$$

где K_1, K_1' — полные эллиптические интегралы соответственно при модуле

$$k_1 = \frac{1}{\beta} \quad \text{и} \quad k_1' = \sqrt{1 - k_1^2}.$$

Отношение модулей четвертого и второго преобразований будет

$$\frac{k_1}{k} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha^2 (\sqrt{\alpha^2 - n^2} - \sqrt{\alpha^2 - 1})}{n \sqrt{\alpha^2 - 1} + \sqrt{\alpha^2 - n^2}}. \quad (\text{I.21})$$

Фильтрационный расход нормального прямоугольника

$$Q = 2k_\phi H q_r \quad \text{при} \quad q_r = \frac{2p}{q} = 2 \frac{K_1}{K_1'}. \quad (\text{I.22})$$

Следовательно, для определения фильтрационного расхода необходимо найти соотношение полных эллиптических интегралов первого рода при модулях K и K_1 . Воспользовавшись методом разложения модуля K в ряд и ограничившись первым членом быстро сходящегося ряда [25], получим

$$k = 4e^{-\frac{\pi K'}{2K}}; \quad (1.23)$$

$$k_1 = 4e^{-\frac{\pi K_1'}{2K_1}}. \quad (1.24)$$

После подстановки в (1.24) значений (1.16), (1.21) и ряда преобразований будем иметь

$$\frac{K_1}{K_1'} = \frac{\pi}{2} \frac{1}{\ln \frac{R}{r_0} + \ln \frac{n \sqrt{a^2 - 1} + \sqrt{a^2 - n^2}}{a^2 (\sqrt{a^2 - n^2} - \sqrt{a^2 - 1})}}. \quad (1.25)$$

Подставив полученное выражение в (1.22) и учтя (1.18), получим

$$Q = \frac{2\pi k_\phi H}{\ln \frac{R}{r_0} + C_1}, \quad (1.26)$$

где C_1 — коэффициент несовершенства водоприемной поверхности рассматриваемой дренажной трубы, определяемой зависимостью

$$C_1 = \ln \frac{f + \sqrt{\text{ch}^2 \ln \frac{R}{r_0} - \cos^2 \left(\arcsin \frac{\tau}{2r_0} \right)}}{\text{ch}^2 \ln \frac{R}{r_0} \left(\sqrt{\text{ch}^2 \ln \frac{R}{r_0} - \cos^2 \left(\arcsin \frac{\tau}{2r_0} \right)} - \varphi \right)}, \quad (1.27)$$

$$\text{где} \quad f = \cos \left(\arcsin \frac{\tau}{2r_0} \right) \varphi,$$

$$\varphi = \sqrt{\text{ch}^2 \ln \frac{R}{r_0} - 1}.$$

Оценим полученное выражение и сделаем некоторые упрощения. Умножив левую и правую часть уравнения (1.27).

на

$$\sqrt{\frac{1}{\operatorname{ch}^2 \ln \frac{R}{r_0} - 1}},$$

получим

$$C_1 = \ln \frac{E + 1}{E - n}, \quad (1.28)$$

где

$$E = \sqrt{\frac{\operatorname{ch}^2 \ln \frac{R}{r_0} - \cos^2 \left(\arcsin \frac{\tau}{2r_0} \right)}{\operatorname{ch}^2 \ln \frac{R}{r_0} - 1}}. \quad (1.29)$$

В применяемых пленочных трубах диаметр D колеблется от 36 до 50 мм, ширина щелей τ обычно составляет 0,5—3,0 мм. Следовательно, величина $\cos \left(\arcsin \frac{\tau}{2r_0} \right)$ изменяется от 0,995 до 0,999, т. е. очень близка к единице.

В практических расчетах радиус влияния R принимается более 0,5 м. Например, для гончарного дренажа [59] он считается равным двум длинам трубок, т. е. $R = 2S_1 = 0,66$ м. Следовательно, величина $\operatorname{ch}^2 \ln \frac{R}{r_0}$ — достаточно большое число [11]. Все это дает основание с очень малой погрешностью принять $E = 1$. Тогда уравнение (1.28) можно представить в виде

$$C_1 = \ln \frac{2}{1 - n} = \ln \frac{2}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\tau}{D} \right)^2}}. \quad (1.30)$$

Таким образом, приток воды к дрене с продольным разрезом (типа «нахлестка», «молния», «строчка»), расположенной на глубине t от поверхности, равен

$$Q_1 = \frac{2\pi k_\phi H L}{\ln \frac{4t}{D} + \ln \frac{2}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\tau}{D} \right)^2}}}, \quad (1.31)$$

где τ — ширина щели;
 D — диаметр трубы;
 L — длина дрена.

§ 4. Влияние размеров и расположения продольно-щелевой перфорации на водозахватную способность дрен

В практике осушения широко применяются гладкостенные трубы из ПВХ и ПВП с продольно-щелевой прерывистой перфорацией, расположенной симметрично в несколько рядов по окружности трубы. Конструктивное решение ее пока самое разнообразное: число рядов колеблется от 3 до 36. Ширина щелей принимается от 0,5 до 2,0, расстояние между щелями в ряду 5—50 мм. Как правило, щели расположены вразбежку, т. е. в одно сечение попадает половина щелей из общего числа по окружности трубы, что диктуется условиями меньшего ослабления ее прочности.

Многообразие конструкций дрен со щелевой перфорацией обусловлено поисками наиболее рациональных решений, обеспечивающих достаточную водозахватную способность при минимальном ослаблении прочности труб и максимальном снижении опасности механического заиливания. Здесь сталкиваются противоположные требования: для обеспечения большей водозахватной способности необходимо увеличить число и размеры щелей, по соображениям прочности количество их в сечении должно быть минимальным, а из опасности заиливания требуется ограничить ширину щелей. Пока эти вопросы нельзя считать решенными. Имеющиеся высказывания о влиянии числа рядов перфорации на водозахватную способность дрен весьма разноречивы. Одни авторы [54] утверждают, что увеличение числа рядов перфорации более трех не влияет существенно на приточность воды к дрене, другие [44], наоборот, рекомендуют максимально увеличивать его. Для оптимального решения указанных вопросов необходимо получить хотя бы приближенные теоретические решения.

В общем случае задача о притоке воды к дрене, имеющей продольно-щелевую прерывистую перфорацию, является пространственной, осесимметричной и выражается уравнениями (I.1) и (I.2). Если предположить, что перфорационные щели сплошные, то уравнение (I.1) перейдет в уравнение плоской задачи фильтрации и его можно будет решить методом конформных отображений. Прерывистость щелей в полученном решении можно учесть дополнительно, например на основе методов физического моделирования или другим способом.

Расчетная область фильтрации представляет собой кольцо (рис. 6а), внутренний радиус которого равен наружному радиусу трубы r_0 , а наружный радиус — R . Щели на трубе расположены в m рядов симметрично. Следовательно, область фильтрации разделяется на m равных элементов. В силу симметрии и идентичности притока к каждой щели в качестве расчетного элемента примем клиновидную часть кольца (рис. 6б), ограниченную лучами-радиусами, центральный угол между которыми $\theta_n = \frac{2\pi}{m}$. Решение задачи найдем [16] в такой последовательности:

1. Расчетную область фильтрации ξ преобразуем в полукольцо промежуточной области ξ_1 (рис. 6в) с помощью степенной функции

$$\xi_1 = \xi^n, \quad n = \frac{\pi}{\theta_n}. \quad (1.32)$$

2. Промежуточную радиальную область фильтрации ξ_1 отобразим на прямоугольную область (рис. 6г) с помощью логарифмической функции.

$$\xi_2 = A \ln \xi_1 + B. \quad (1.33)$$

Определив из соответствия точек значения постоянных A и B , получим

$$\xi_2 = i \frac{\pi}{\theta_n} \ln \frac{\xi}{r_0 e^{\frac{i\theta_n}{2}}}. \quad (1.34)$$

3. Промежуточную плоскость фильтрации (рис. 6г) отобразим на вспомогательную полуплоскость ξ_3 (рис. 6д) так, чтобы начало координат совпало, а точка 4, ордината которой $\xi_2 = i \frac{\pi}{\theta_n} \ln \frac{R}{r_0}$, перешла бы в бесконечность в плоскости ξ_3 . Применив формулу Кристоффеля—Шварца и выполнив ряд преобразований, получим

$$\frac{K}{K_1} = \frac{\theta_n}{2 \ln \frac{R}{r_0}}. \quad (1.35)$$

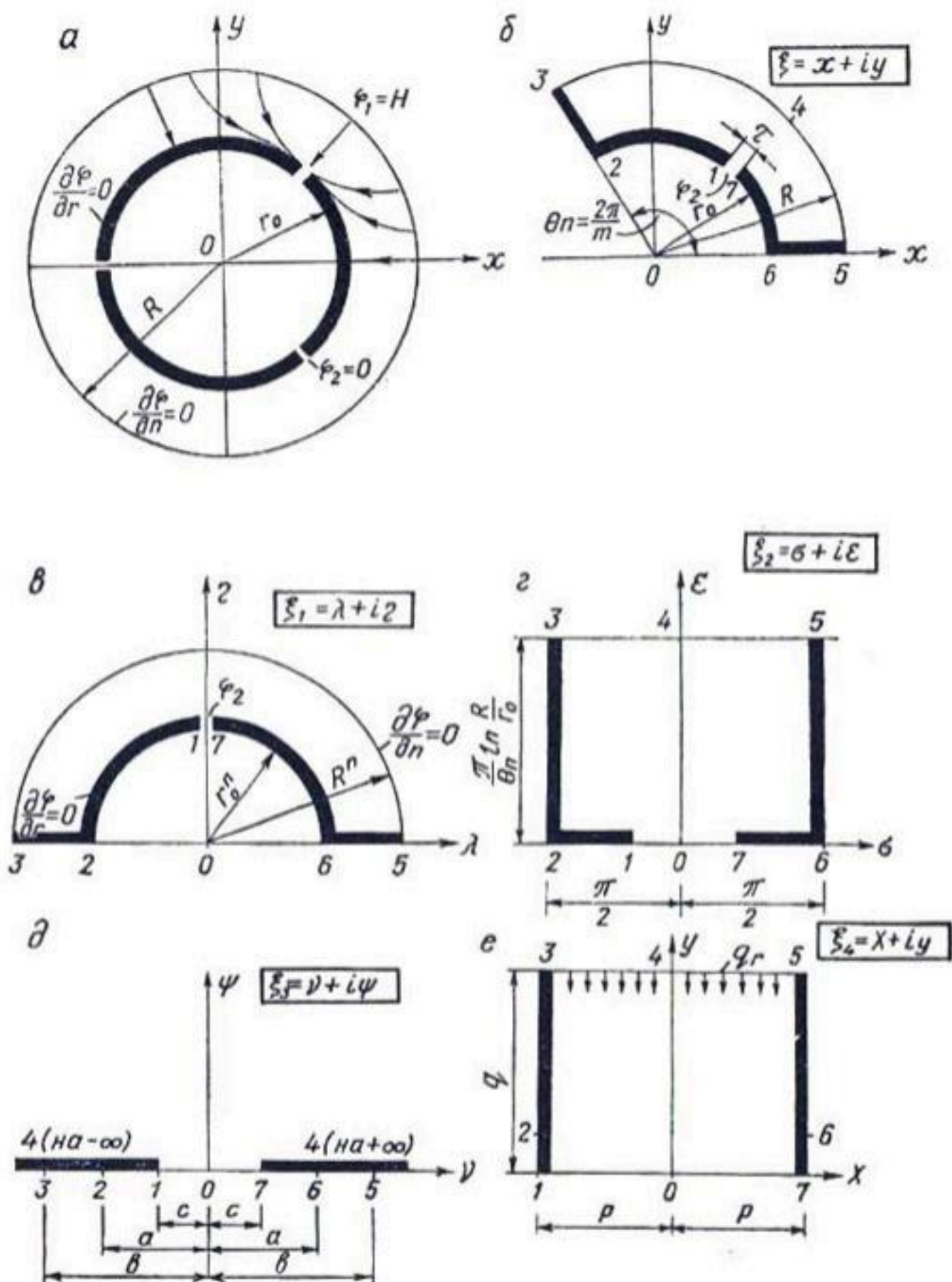


Рис. 6. Расчетная схема к определению притока воды в дрена, имеющие m рядов продольных щелей.

4. Отообразим нормальный прямоугольник (рис. 6e) с сторонами $2p$ и q на верхнюю полуплоскость ξ_3 . По формуле Кристоффеля—Шварца

$$\xi_4 = A_2 \int_0^{\xi_3} \frac{d\xi_3}{\sqrt{(b^2 - \xi_3^2)(c^2 - \xi_3^2)}} + B_2,$$

или

$$\xi_4 = A_2' F(\varphi, k_1) + B_2,$$

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

$$k_1 = \frac{c}{b}, \quad \varphi = \arcsin \frac{\xi_3}{c}.$$

После определения постоянных будем иметь

$$\frac{K_1}{K_1'} = \frac{p}{q}. \quad (I.36)$$

Отношение модулей четвертого и третьего отображений равно

$$\frac{k_1}{k} = \frac{c}{a} = \operatorname{sn} \left(K \frac{\theta_\tau}{\theta_n}, k \right), \quad (I.37)$$

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

$$\theta_\tau = 2 \arcsin \frac{\tau}{2r_0}.$$

Фильтрационный расход нормального прямоугольника

$$Q_1 = 2k_\phi H \frac{p}{q} = 2k_\phi H \frac{K'}{K_1'}. \quad (I.38)$$

Упростив эллиптические функции для случая $k \rightarrow 0$, после ряда преобразований получим

$$\frac{K_1}{K_1'} = \frac{\pi}{2} \frac{1}{\frac{\pi}{\theta_n} \ln \frac{R}{r_0} + \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\theta_\tau}{\theta_n}}}. \quad (I.39)$$

Так как полный приток к дрене $Q = mQ_1$, из (I.38) и (I.39) получим

$$Q = \frac{2\pi k_{\phi} H L}{\ln \frac{R}{r_0} + \frac{2}{m} \ln \frac{1}{\sin \frac{m}{2} \theta}} = \frac{2\pi k_{\phi} H L}{\ln \frac{4t}{D} + C_m}, \quad (\text{I.40})$$

где C_m — коэффициент, учитывающий несовершенство дрены по характеру вскрытия пласта;

$$C_m = \frac{2}{m} \ln \frac{1}{\sin \frac{m}{2} \theta}, \quad m \geq 2; \quad (\text{I.41})$$

$$\theta = \arcsin \frac{\tau}{D}. \quad (\text{I.41}')$$

Формула (I.40) справедлива для дренажных труб, имеющих m симметрично расположенных сплошных щелей. На практике же применяются трубы с прерывистыми щелями длиной l и расстоянием между центрами соседних щелей в ряду (шагом) S . Следовательно, приточность к таким дренам будет меньше определяемого уравнением (I.40). Приблизненно влияние прерывистости щелей на сток можно учесть из следующих соображений.

Площадь перфорации на единицу длины дрены, имеющей m сплошных щелей шириной τ , равна

$$F_0 = m \cdot l \cdot \tau. \quad (\text{I.42})$$

В дрене, имеющей m_1 рядов прерывистых щелей той же ширины, площадь перфорации будет

$$F_1 = m_1 \frac{l}{S} l \tau. \quad (\text{I.43})$$

Естественно допустить, что дрена с прерывистой продольно-щелевой перфорацией и сплошной дадут одинаковый сток, если общая площадь щелей у них будет одинаковой, т. е. $F_1 = F_0$. Тогда из (I.42) и (I.43)

$$m = m_1 \frac{l}{S}. \quad (\text{I.44})$$

Подставив (I.44) в (I.41), получим

$$C_{m_1} = \frac{2S}{m_1 l} \ln \frac{1}{\sin \frac{m_1 l}{2S} \theta}, \quad m_1 \geq 2, \quad (\text{I.45})$$

где m_1 — число рядов, симметрично расположенных по окружности трубы прерывистых щелей длиной l и шагом S .

В мелиоративной практике иногда применяют пластмассовые дренажные трубы, у которых два ряда прерывистых продольных щелей расположены в нижней (или верхней) части (рис. 7а), т. е. несимметрично по окружности. Применение таких труб позволяет существенно упростить и удешевить защиту их от механического заиливания. На практике поступают следующим образом: в желобке на дне траншеи расстилают сплошную ленту защитного материала, например стеклохолста, и на нее укладывают дренажные трубы перфорацией вниз. Можно укладывать трубы перфорацией вверх и накрывать их защитным фильтром. Наряду с относительной простотой механизации процесса защиты (ленту стеклохолста раскручивают с бобины, установленной под трубоукладчиком экскаватора), примерно в 2 раза сокращается расход защитного материала.

Задача о притоке воды к дрене с двумя рядами несимметрично расположенных прерывистых щелей является пространственной. Предположим, что щели непрерывные. Тогда задача станет плоской и ее можно будет решить методом последовательных конформных отображений. Поскольку грунтовый поток движется симметрично относительно оси $y-y$ (рис. 7а), достаточно рассмотреть правую половину области фильтрации и полученный результат удвоить. Примем следующую последовательность решения:

1. Осуществим поворот области фильтрации в комплексной плоскости z против часовой стрелки на угол $\frac{\pi}{2}$ (рис. 7б). При этом получим

$$z_1 = iz.$$

2. Расчетную область фильтрации z_1 отобразим на промежуточную прямоугольную область ω с помощью логарифмической функции.

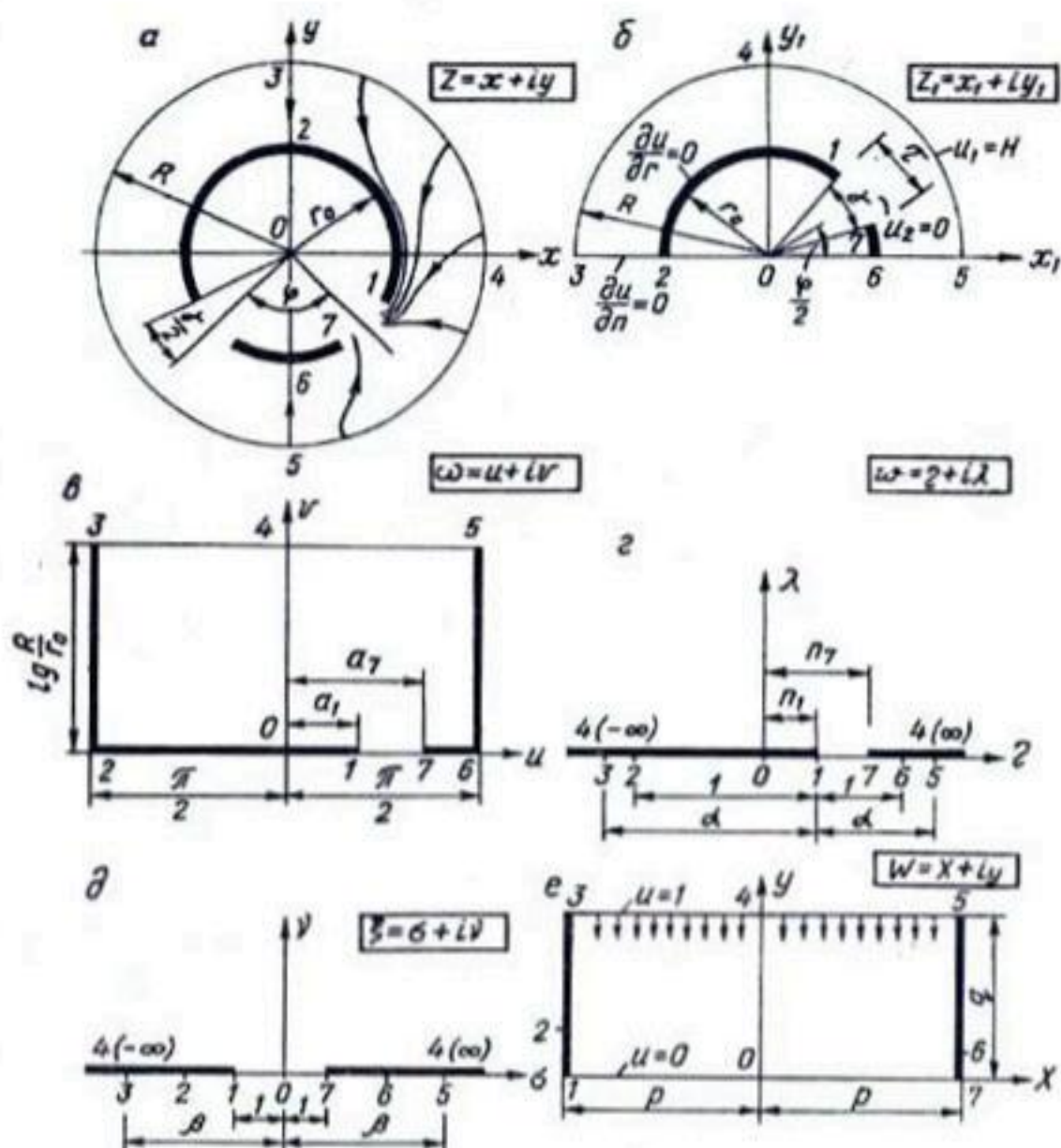


Рис. 7. Расчетная схема к определению притока воды в дрена с 2 рядами ассиметрично расположенных щелей.

3. Промежуточный прямоугольник фильтрации (рис. 7в) отобразим на вспомогательную полуплоскость w .

4. С помощью дробнолинейной функции проведем симметризирующее преобразование полуплоскости w в полуплоскость ξ .

5. Отобразим плоскость нормального прямоугольника W на верхнюю полуплоскость ξ .

После выполнения всех преобразований [30], опустив промежуточные выкладки, получим

$$Q_{2, n} = \frac{2\pi k_{\phi} H L}{\ln \frac{4t}{D} + C_{2, n}}, \quad (I.46)$$

где

$$C_{2,n} = \ln \frac{1}{\cos \frac{\pi - \varphi}{2} \sin \theta} . \quad (I.47)$$

При $\varphi = \pi$ имеем дренажную трубу с двумя сплошными продольными щелями, расположенными симметрично по окружности трубы (по концам диаметра). Поэтому уравнение (I.47) должно удовлетворять (I.41). Действительно, из (I.47) при $\varphi_1 = \pi$ получим

$$C_{2,n} = \ln \frac{D}{\tau} ,$$

а из уравнения (I.41) при $m=2$

$$C_m = \ln \frac{D}{\tau} .$$

При $\varphi = \gamma = 2\theta_1$ будем иметь дренажную трубу с одной продольной щелью шириной 2τ (рис. 7а) и из уравнения (I.47)

$$C_{2,n} = \ln \frac{1}{\sin^2 \theta_1} .$$

Подставив в (I.30) вместо n его значения по (I.18) и приняв $\theta = 2\theta_1$, после несложных преобразований получим

$$C_1 = \ln \frac{1}{\sin^2 \theta_1} .$$

Таким образом, уравнение (I.47) отвечает предельным условиям. Поэтому по аналогии с уравнением (I.45) значение коэффициента несовершенства $C_{2,n}$ для труб с прерывистыми щелями можно представить в виде

$$C_{2,n} = \frac{S}{l} \ln \frac{1}{\cos \frac{\pi - \varphi}{2} \sin \frac{l}{S} \theta} . \quad (I.48)$$

В мелиоративной практике применяют дренажные трубы, имеющие 2—16 и более рядов щелей, длина которых колеблется от 5 до 50, а шаг от 10 до 80 мм.

Наибольшее распространение получили трубы, у которых $l=15-25$ мм, $S=(2-3)l$, $m_1=4-8$.

С целью анализа полученных решений и сравнения водозахватной способности дренажных труб различных конструкций по уравнениям (I.11), (I.31), (I.40) и (I.45) вычислен расчетный приток. При этом для труб со щелевой перфорацией приняты параметры, наиболее часто встречающиеся на практике: $l=20$, $S=50$ мм. Диаметр пластмассовых труб 50, ширина щелей — 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 и 8,0 мм. Для гончарной дрены соответственно длина трубок $S_1=0,33$ м, $D_n=0,07$ м. Результаты расчетов приведены в табл. 1, по данным которой построены графики $Q=f(\tau, m)$ и $Q_i/Q_0=\varphi(\tau, m)$, представленные на рис. 8 и 9. Приток к пористой дрене Q_0 определен по уравнению (I.3). Для пластмассовых дрен он равен 16,6, а гончарных — 17,9 см³/сек.

Анализ графиков $Q_i=f(\tau, m)$ и $\frac{Q_i}{Q_0}=\varphi(\tau, m)$ позволяет сделать следующие выводы:

1. Независимо от числа рядов щелей, увеличение их ширины более 2,0 мм оказывает незначительное влияние на возрастание приточности воды к дренам. Так как с увеличением ширины щелей опасность заиливания дрен возрастает, оптимальными являются щели шириной 0,5—1,0 мм.

Таблица 1

Ширина щелей τ , мм	Приток к дренам Q , см ³ /сек на 1 пог. м					
	пластмассовым с числом рядов щелей m				плотным типом «молния» и др. ($m=1$)	гончарным
	2	4	6	12		
0,5	3,93	6,82	8,93	12,15	4,6	7,7
1,0	4,43	7,64	9,70	12,90	5,1	8,1
2,0	4,95	8,37	10,50	13,53	5,6	8,5
4,0	5,58	9,30	11,50	14,10	6,3	9,1
8,0	6,45	10,45	12,70	15,18	7,2	10,2

2. Число рядов щелей существенно влияет на водозахватную способность дрен [34]. Однако нарастание приточности не пропорционально увеличению числа рядов перфорации, что можно объяснить явлением интерференции. Оптимальным числом рядов перфорации следует считать 6 штук по окружности. Устраивать более 8 рядов

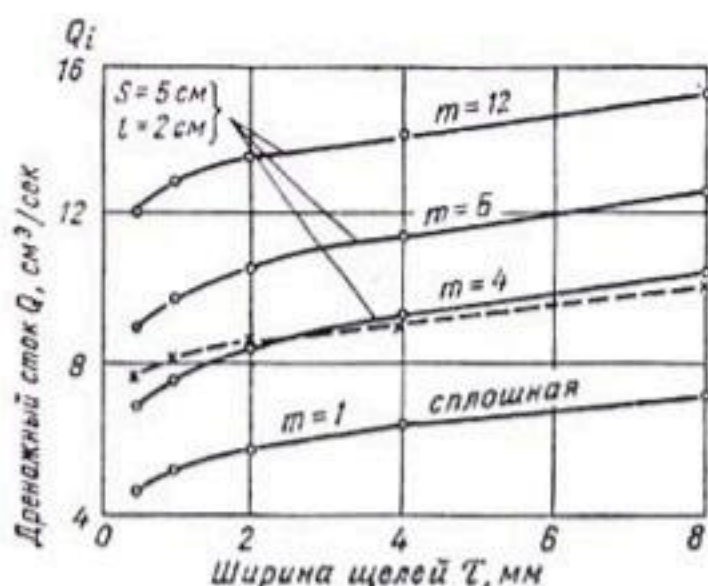


Рис. 8. Зависимость $Q=f(\tau, m)$ для пластмассовых дренажей с прерывистой щелевой перфорацией (о), гончарной (х) и пленочной типа «нахлестка» (●).

4. Водозахватная способность гончарных дренажей примерно одинакова с пластмассовыми, имеющими 4 ряда щелей, и на 20% ниже, чем у труб с 6 рядами щелевой перфорации.

5. Водозахватная способность как пластмассовых, так и гончарных дренажей значительно ниже «идеальных» (пористых).

§ 5. Проверка расчетных зависимостей

Приведенные выше расчетные формулы притока воды к дренажным трубам различных конструкций проверялись в грунтовой лотке длиной 5,6 м, высотой 1,0 м и шириной 0,5 м. Лоток на высоту 0,93 м заполняли среднезернистым песком, имеющим коэффициент фильтрации 17,2 м/сутки. Гранулометрический состав грунта приведен в табл. 2.

Таблица 2

Размер фракций, мм	>2	2,0—1,0	1,0—0,5	0,5—0,25	0,25—0,10	<0,10
Содержание, % по весу	3	5	6	61	23	3

Опыты проводились следующим образом. В центре поперек лотка на глубине 0,66 м от поверхности грун-

щелей не целесообразно, так как при этом сильно ослабляется прочность поперечного сечения труб, а водозахватная способность их увеличивается мало.

3. Пленочные трубы типа «молния», «строчка», «нахлестка» обладают минимальной водозахватной способностью. Приток к этим дренажам ($m=1$) в 1,5 раза меньше, чем к гончарным.

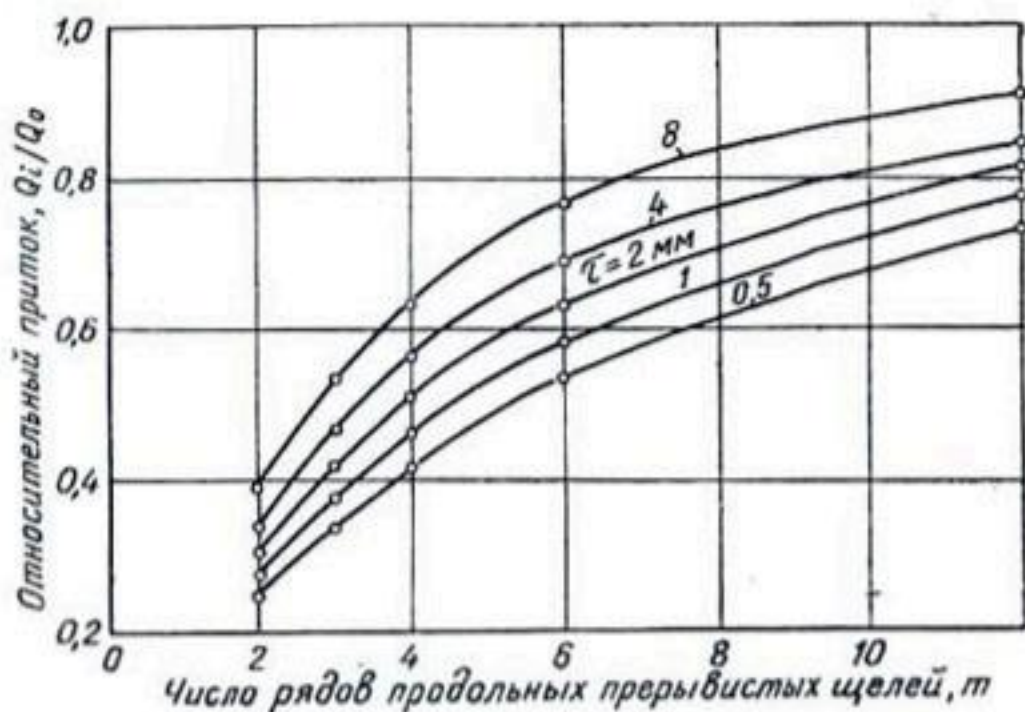


Рис. 9. Зависимость $\frac{Q}{Q_0} = \varphi(\tau, m)$ при $S=5$ см; $l=2$ см.

та помещали исследуемый образец дренажной трубы (рис. 10). После засыпки дрены снизу подавали воду с целью вытеснения воздуха. С выходом воды на поверхность грунта нижнее питание отключали. Опыты проводили при подаче воды сверху по специальному распределителю с поддержанием постоянного напора, т. е. создавали условия работы так называемой подрусловой дрены.

В процессе проведения опытов измеряли: сток воды из дрены, вынос твердых частиц, показания пьезометров и температуру воды на выходе и входе.

Для притока воды к «идеальной» (пористой) подрусловой дрене имеется точное решение В. В. Ведерникова [8]

$$Q_0 = \frac{2\pi k_\phi H L}{\Phi}, \quad (1.49)$$

где Φ — фильтрационное сопротивление, определяемое граничными условиями:

$$\Phi = \ln \left[\operatorname{tg} \frac{\pi(4t - D)}{8T_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_1} \right], \quad (1.50)$$

где t — глубина дрены;
 T_1 — толщина водоносного слоя.

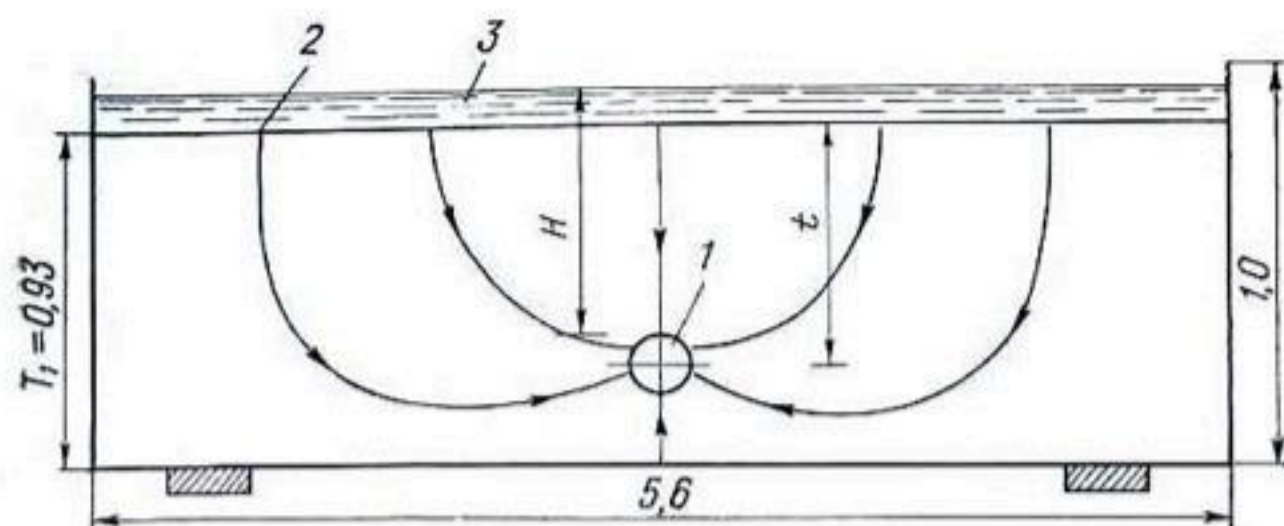


Рис. 10. Схема опытов в грунтовом лотке (подрусловая дрена):
1 — дрена; 2 — поверхность грунта; 3 — поверхность воды.

Формулу (I.49) тщательно проверяли методом ЭГДА [37]; она показала удовлетворительную точность при

$$\frac{D}{T_1} \leq 0,15 \text{ и } \frac{D}{t} \leq 0,5. \quad (\text{I.51})$$

При диаметрах исследуемых дрен 40—80 мм, параметрах грунтового лотка и схеме опытов (рис. 10) условия (I.51) выполнялись.

Приток воды к подрусловой дрене, несовершенной по характеру вскрытия пласта, можно определить по зависимости

$$Q_i = \frac{2\pi k_{\phi} H L}{\Phi + C_i}, \quad (\text{I.52})$$

где C_i — коэффициент несовершенства поверхности дрены, определяемый по приведенным выше формулам.

Таким образом, имея фактический дренажный сток, полученный из опытов в грунтовом лотке и вычисленный по уравнению (I.52), можно проверить достоверность (точность) приведенных выше формул. Результаты выполненных замеров и расчетов представлены в табл. 3.

Как видим из таблицы, расчетные формулы притока воды к пластмассовым дренам со щелевой перфорацией дают результаты, близкие полученным в опытах. Так, по формуле (I.45) среднее отклонение расчетного стока от фактического равно $\pm 7,8\%$ с колебаниями от +7,2 до

Таблица 3

Тип дренажной трубы	Материал	Наружный диаметр D, мм	Характеристика перфорации				Угол между рядами перфорации α°	Дренажный сток Q, см³/сек		$\frac{Q_p - Q_{ф}}{Q_{ф}}$ %	Расчетная формула
			кол-во рядов m_1	длина отверстий l	ширина отверстий z	диаметр отверстий d_0		фактический при $18^\circ Q_{ф}$	Q_p расчетный		
Гофрированная	ГВП	75	6	25	0,4	—	60	67,5	70,3	-7,0	1.45
Гладкостенная	ПВП	40	6	25	1,2	—	60	73,5	68,4	+7,2	1.45
»	ПВХ	50	3	30	1,0	—	60	46,7	45,9	-1,7	1.45
»	»	50	6	30	1,0	—	45	73,1	75,7	+3,3	1.45
»	»	50	6	30	1,0	—	60	68,7	67,8	-1,3	1.45
»	»	50	6	30	1,0	—	90	67,7	55,0	-19,0	1.45
»	»	50	6	30	1,0	—	75	67,5	61,0	-9,6	1.45
»	»	63	1	Сплошная	1,0	—	—	39,7	34,3	-13,6	1.31
»	»	63	1	»	1,0	—	—	30,4	34,3	+12,8	1.31
»	»	50	2	30	1,0	—	60	33,9	27,8	-18,0	1.48
»	»	50	2	Сплошная	1,0	—	24	59,5	45,6	-23,0	1.47
»	»	50	6	30	1,0	—	60	68,7	97,5	+42,0	1.7
Гофрированная	»	75	6	25	0,4	—	60	65,7	98,0	+49,2	1.7
Гладкостенная	»	50	6	30	1,0	—	90	67,7	97,0	+30,2	1.7
»	»	50	3	30	1,0	—	60	46,7	89,8	+92,3	1.7
Гофрированная	ПВП	50	1	—	—	1,5	10	23,5	21,8	-7,2	1.8
»	»	50	3	—	—	1,5	10	36,6	44,5	+17,7	1.8
»	»	50	6	—	—	1,0	10,5	43,0	43,2	+0,5	1.8
«Строчка»	Винипласт	50	1	Сплошная	2,0	—	—	37,3	33,6	-9,9	1.31
«Молния»	»	50	1	»	2,0	—	—	37,2	33,6	-9,7	1.31
«Нахлестка»	»	50	1	»	0,25	—	—	9,7	19,5	+10,1	1.31
Гончарная	»	70	Стыки	—	1,0	—	50,0	28,0	32,1	+14,4	1.11

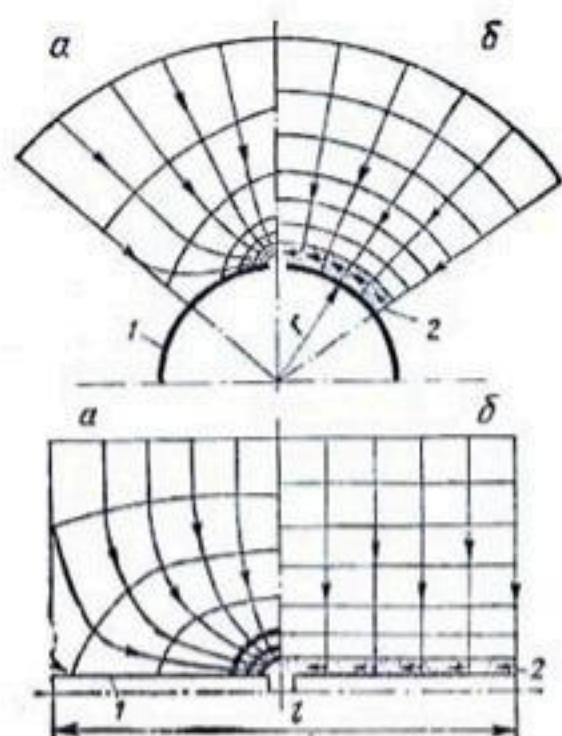


Рис. 11.

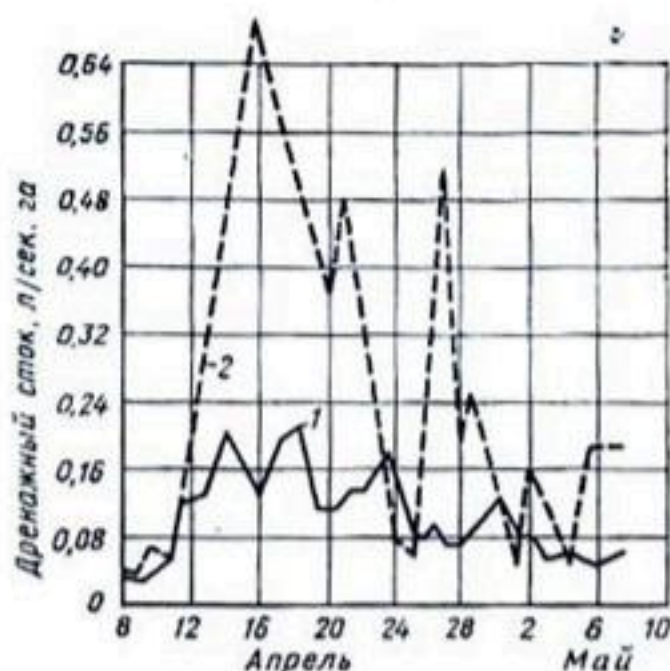


Рис. 12.

Рис. 11. Схема притока воды к дренам: сверху — к трубе с тремя рядами продольных щелей и внизу — с поперечными стыковыми зазорами (щелями):

a — без фильтра; *б* — с фильтром; 1 — труба; 2 — фильтр.

Рис. 12. Дренажный сток по объекту колхоза «Новый быт»:

1 — дрены без фильтра; 2 — дрены с фильтром из стеклоткани ССЭ-40.

—19,0%; по формуле (I.31) отклонения в среднем $\pm 11,5\%$. Исключение составляют трубы типа «нахлестка», для которых расчетный расход превышает фактический в 2 раза. В данном случае водоприемная щель трубы под давлением грунта почти закрывается. Кроме того, в ней неизбежно заклиниваются частицы грунта и кольматируют ее. Формула (I.48) для 2-рядных несимметричных щелей дает заниженные результаты в среднем на 20; формула Н. Т. Эфендиева (I.11) для гончарного дренажа дает завышенные результаты на 14, а формула Маскета—Щурова (I.7) для применяемых в мелиоративной практике пластмассовых дренажных труб со щелевой перфорацией дает завышенные результаты на 30—92%. Формула (I.8) для дренажных труб с круглой перфорацией дает вполне приемлемые совпадения расчетных и фактических величин стока ($\Delta Q = 0,5—17,7\%$).

Таким образом, формулы (I.8), (I.11), (I.31), (I.45) и (I.48) обладают вполне достаточной точностью и могут быть рекомендованы для практического применения.

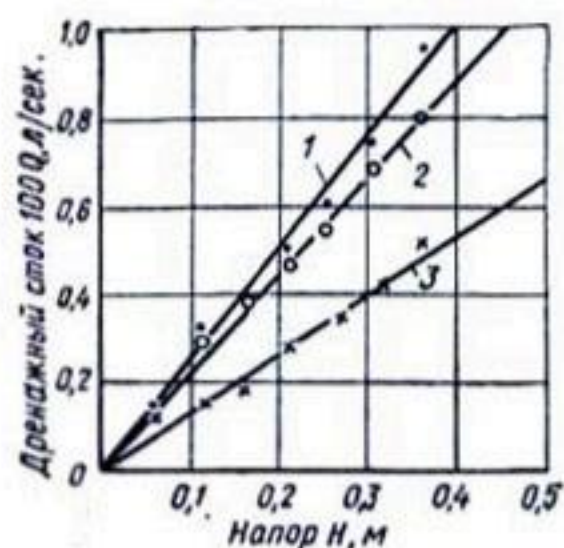


Рис. 13.

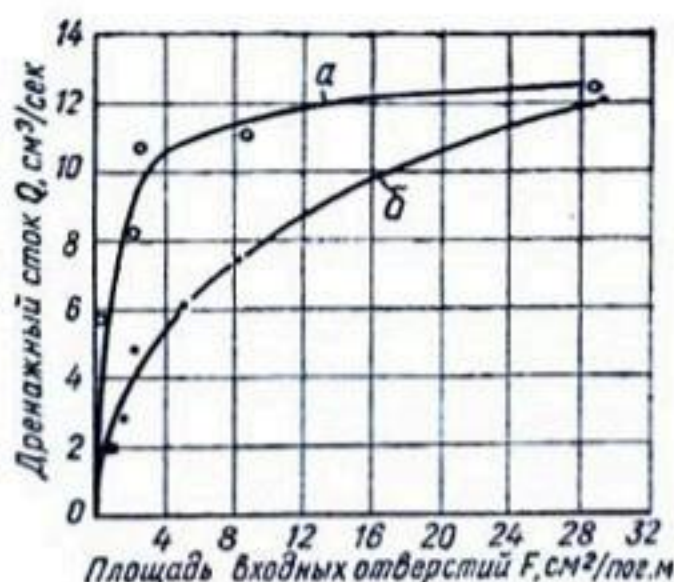


Рис. 14.

Рис. 13. Зависимость дренажного стока (через один стыковой зазор гончарной дрены) от напора:

1 — дрены с фильтром из стеклохолста; 2 — с гравийным фильтром толщиной 25 мм; 3 — без фильтра.

Рис. 14. Зависимость дренажного стока от площади перфорации (по Сапожникову):

а — дрены с фильтром из стеклохолста типа ВВ-Г; б — без фильтра.

§ 6. Влияние защитных фильтров на приточность воды к дренам

Укладка фильтров вокруг труб с целью защиты их от механического заиливания способствует не только долговечности дренажа, но и увеличению его осушительного действия. При отсутствии фильтров грунтовый поток при подходе к перфорационным отверстиям сильно сжимается, что существенно затрудняет поступление воды в полость труб. В околдренной области создается потенциальное течение с большими градиентами (рис. 11). Значительная часть полезного напора теряется в непосредственной близости от водоприемных отверстий в трубах. Относительное сжатие потока, входные сопротивления и градиенты тем больше, чем несовершеннее конструкция дренажной трубы, т. е. чем меньшее количество водоприемных отверстий на единицу длины и меньше их размеры. Обертка или обсыпка дренажных труб хорошо фильтрующим и правильно подобранным материалом изменяет структуру грунтового потока и уменьшает потери напора в придренной зоне. Линии тока направля-

ются перпендикулярно поверхности дрены. Основная доля полезного напора теряется внутри грунта, а вдоль дрены и у щелей потери напора становятся незначительными. Все это существенно увеличивает водозахватную способность дренажа.

Влияние фильтров на водозахватную способность пластмассовых и гончарных дренах изучалось в полевых и лабораторных условиях. Результаты опытов представлены на рис. 12—14. Как видим из графиков, защитный фильтр способствует увеличению дренажного стока в 1,5—3 раза. При этом существенное влияние оказывает как материал его, так и конструкция дренажной трубы. С увеличением площади перфорационных отверстий относительное влияние фильтров уменьшается. При малой площади перфорации обертка труб стеклохолстом увеличивает сток в 2—3 раза, при большой (более $20 \text{ см}^2/\text{пог. м}$) — увеличение приточности к дрене составляет только 5—10% (рис. 14).

Следует подчеркнуть, что применяя защитные фильтры можно значительно уменьшить площадь перфорационных отверстий в дренах без уменьшения их осушительного эффекта. А это позволит существенно повысить прочность труб. Так, при обертке полиэтиленовых дренах стеклохолстом (рис. 14) водозахватная способность труб с 4—6 $\text{см}^2/\text{пог. м}$ отверстий становится такой же, как и труб с площадью перфораций 20—24 $\text{см}^2/\text{пог. м}$, но без фильтра. Увеличение приточности воды к дренажным трубам, вызванное наличием фильтров, можно оценить по величине относительных входных сопротивлений (табл. 4).

Таблица 4

Трубы	Количество щелей на 1 пог. м	Площадь перфорации, $\text{см}^2/\text{пог. м}$	Относительные входные сопротивления, %	
			без фильтра	фильтр из стеклохолста
Гладкостенные из ПВХ	56	7,7	100	78
	24	3,3	100	52
(опыты Кавеларса [65])	16	2,2	100	41
	8	1,1	100	32
Гладкостенные из ПВХ	240	8,3	100	64
(опыты Сапожникова [45])	32	2,4	100	48
	4	1,8	100	29

Таблица 5

Грунт	Дренажная труба	Дренажный сток, см ³ /сек		$\frac{Q_{\Phi}}{Q_0}$
		без фильтра Q_0	отверстия не- рекрыты стек- лохолстом Q_{Φ}	
Песок:				
среднезер- нистый	Полиэтиленовая, $D=40$ мм, по- перечная щель $\tau=1$ мм	2,4	3,3	1,37
тот же	Гончарная, $D=70$ мм, ширина зазора 1 мм	9,5	10,5	1,11
мелкозер- нистый	Полиэтиленовая, $D=40$ мм, один ряд отверстий $d_0=1,5$ мм	0,67	1,1	1,64
пылеватый				
среднезер- нистый	Та же	3,4	4,6	1,35

Данные таблицы свидетельствуют о том, что фильтрационные обкладки уменьшают входные сопротивления в 1,3—3,5 раза, т. е. весьма существенно улучшают гидравлические характеристики вокруг дренажной трубы. При этом наблюдается обратная связь между площадью перфорации и влиянием защитного фильтра.

Выше рассматривалось влияние защитных фильтров на приточность воды к дренам, обусловленное в основном изменением потерь в придренной зоне. Но это не единственная причина улучшения работы дренажа при наличии структурных фильтров.

При использовании фильтров из сыпучих материалов (гравийно-песчаная смесь, крупнозернистый песок и т. п.) водоприемные отверстия дрена неизбежно в той или иной степени заклиниваются мелкими частицами. Вследствие этого поступление воды в дрена может существенно уменьшаться или влияние сыпучего фильтра на увеличение приточности будет незначительным. Если же фильтр выполнен из структурного материала (мох, стеклохолст, стекловата и т. п.), водоприемные отверстия практически не заиливаются и защитные фильтры влияют в полной степени. Для подтверждения сказанного были поставлены специальные опыты. Брели дренажные трубы различных конструкций и стеклохолстом перекрывали только непосредственно перфорационные отверстия или стыко-

вые зазоры. Определяли дренажный сток в грунтовом лотке, заполненном песком различного механического состава. Затем опыты повторяли, но без защитного фильтра. Результаты, представленные в табл. 5, показывают, что вследствие защемления частиц в дренажных отверстиях труб приточность уменьшается на 11—64%. Степень влияния защемления частиц в водоприемных отверстиях труб на количество поступающей воды в дрены зависит от соотношения размеров и формы перфорации и гранулометрического состава грунта. Наиболее заклиниваются частицами грунта круглые и небольших размеров щелевые отверстия, имеющие конусность, направленную внутрь трубы. Двигающиеся через отверстия под действием фильтрационного напора частицы грунта, проходя от большого сечения к меньшему, неизбежно заклиниваются. В итоге поступление воды в дрены может уменьшаться в десятки и сотни раз.

Выше рассматривались несвязные грунты. Что касается связных, то и в них защитные фильтры на увеличение приточности воды к дренам влияют не в меньшей степени. На рис. 12 представлены графики модулей стока из дрен с фильтром и без него, заложенных в торфе. В табл. 6 даны результаты замеров стока на объекте колхоза им. Калинина, где осушаются тяжелые ленточные глины. Из нее видно, что защитные материалы способствуют увеличению стока в 1,3—2,2 раза. Опыт Дарела и Лютина [67] в глинах с трубами, имеющими круглые

Таблица 6

Труба	Способ защиты	Коэффициент стока из дрен		$\frac{K_{\phi}}{K_6}$
		с фильтром, K_{ϕ}	без фильтра, K_6	
Гофрированная, ПВХ, $D=55$ мм, $m=3$	Стекловата вкруговую	0,109	0,072	1,52
Гофрированная, ПВХ, $D=45$ мм, $m=3$	Стекловата сверху, стеклохолст снизу	0,186	0,101	1,84
Гладкостенная, ПВХ, $D=42$ мм, $m=4$	Стеклохолст сверху	0,266	0,202	1,32
Гончарная, $D=70$ мм	Стеклохолст снизу и полосы на стыках	0,216	0,096	2,25

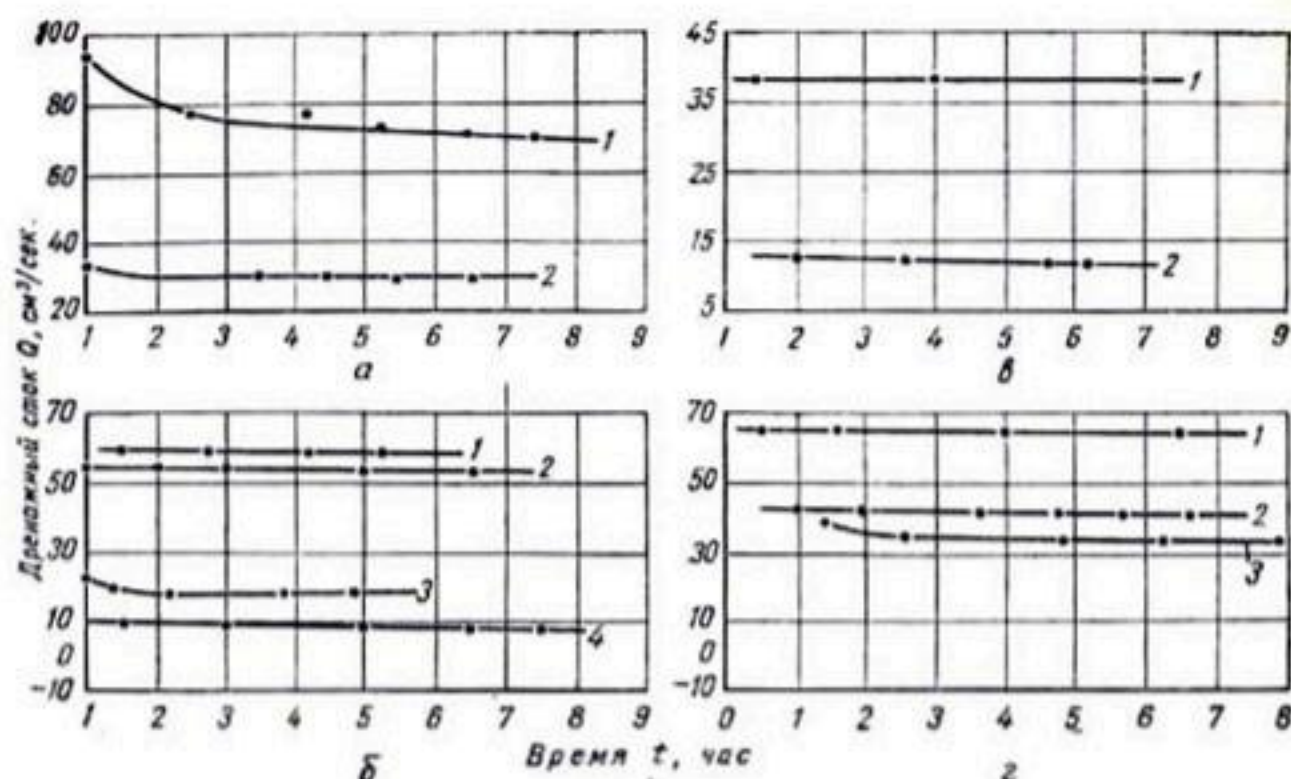


Рис. 15. Влияние фильтра из стеклохолста на приточность воды к дренам:

а — трубы гофрированные БелНИИМиВХ ($D_H=50$ мм; $d_0=1,5$ мм; $S=10$ мм; $m=4$) с фильтром (1) и без него (2); б — трубы гофрированные БелНИИМиВХ ($D_H=50$ мм; $d_0=1,0$ мм; $m=1$) с фильтром отверстиями вниз (1) и вверх (2) и без фильтра отверстиями вниз (3) и вверх (4); в — трубы гофрированные НИИПМ ($D_H=55$ мм; $d_0=1,0$ мм; $S=7$ мм; $m=3$) без фильтра (1) и с фильтром из стеклонитей во впадинах (2); г — трубы гофрированные НИИПМ ($D_H=55$ мм; $S=15$ мм; $d_0=1,2$ мм; $m=6$) с фильтром из стеклохолста (1), стеклонитей во впадинах (2) и без фильтра (3).

отверстия больших диаметров, показали, что фильтр из стекловаты в отдельных случаях способствует увеличению стока в 17 раз.

В табл. 7 и 8 приведены результаты опытов по исследованию влияния защитных фильтров на сток из дрен. Опыты проводились в грунтовой лотке (рис. 10) по схеме подрусовой дрены. В табл. 8 сравнивается фактический сток Q с теоретическим, подсчитанным для случая «идеальной» (пористой) дрены по формуле В. В. Ведерникова (1.49). На рис. 15 графически отражено изменение стока во времени. Ниже анализируются результаты экспериментов по отдельным конструкциям дренажных труб:

а) Гофрированные трубы с круглой перфорацией, расположенной в углублениях

По результатам опытов, представленных в табл. 8, и графикам $Q=f(t)$ и $Q_{\text{защ.}}/Q_{\text{без защ.}}=\psi(t)$, приведенным на рис. 16 и 17, можно сделать следующие выводы:

1. Водозахватная способность дрен увеличивается не

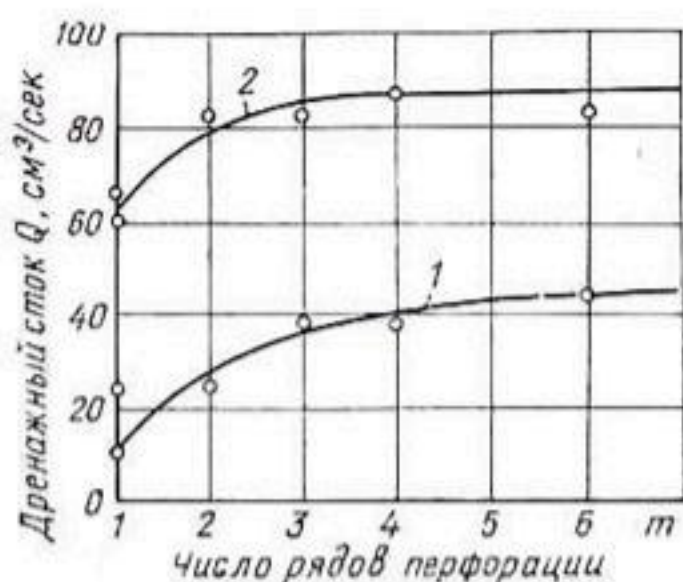


Рис. 16. Зависимость $Q=f(m)$:
трубы гофрированные ($D=50$ мм; $d_0=$
 $=1,5$ мм; $S=10$ мм) с фильтром из
стеклохолста (1) и без него (2).

пропорционально возрастанию числа рядов перфорации m . При отсутствии фильтра заметное приращение стока наблюдается при $m \leq 3-4$. Дальнейшее увеличение m незначительно влияет на величину дренажного стока. Устраивать более 6 рядов перфорации не целесообразно.

2. При наличии хорошо фильтрую-

щего защитного покрытия заметное увеличение приточности наблюдается только до $m=2-3$. Сток из дрен данной конструкции при $m=3$ и наличии фильтрата из стеклохолста мало отличается от стока пористой дрены (рис. 17). В гофрированных трубах вполне достаточно иметь шесть рядов отверстий, расположенных во впадинах через один гофр.

3. Фильтр из стеклохолста значительно увеличивает сток, причем чем меньше m (хуже конструкция дрен), тем фильтр влияет больше (табл. 8, рис. 17). Поэтому

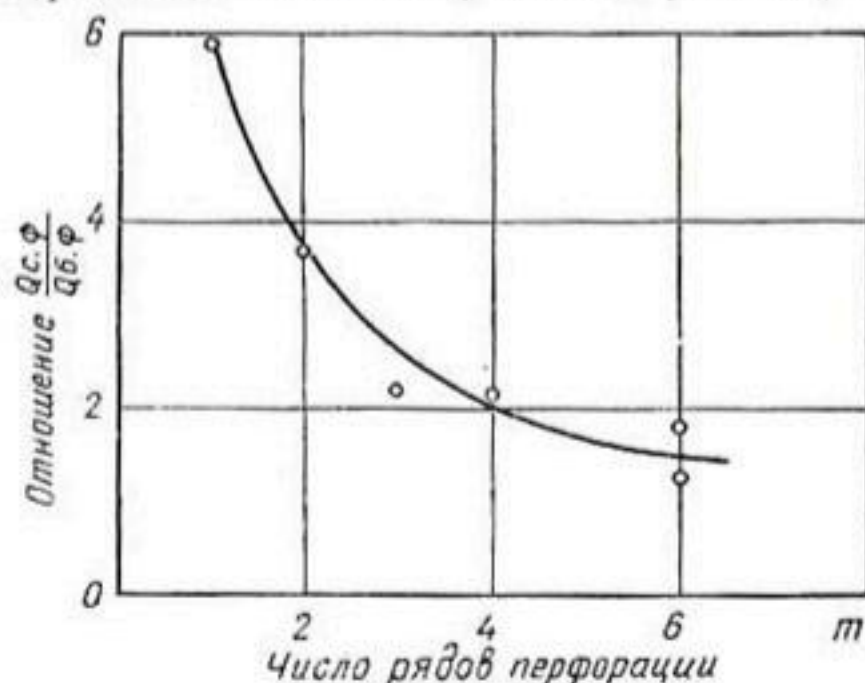


Рис. 17. Зависимость $\frac{Q_{с.ф}}{Q_{б.ф}}=f(m)$.

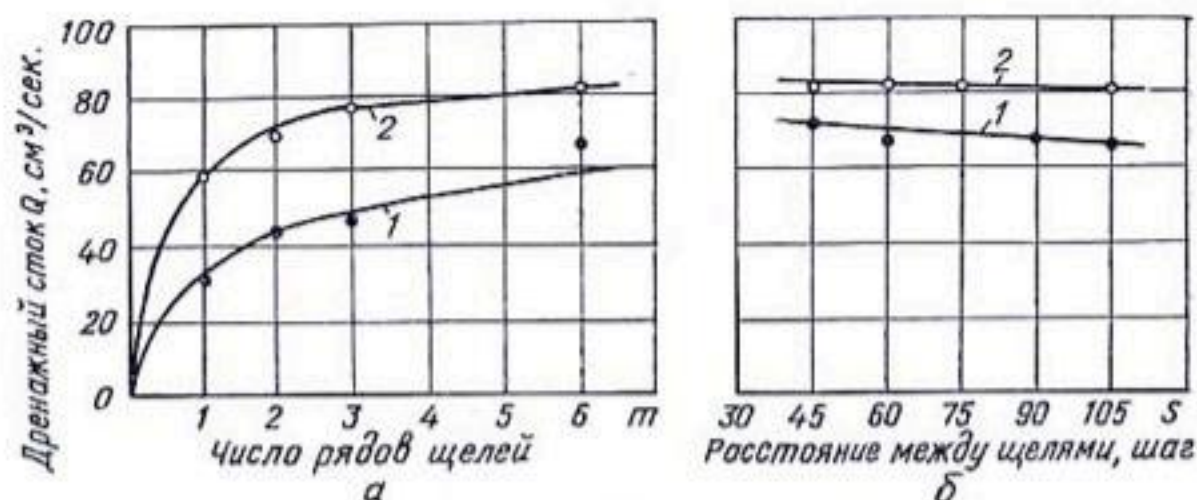


Рис. 18. Зависимость $Q=f(m)$ и $Q=f(S)$ при $m=6$:
1 — трубы без фильтра; 2 — с фильтром из стеклохолста.

фильтры обязательны даже в грунтах, где опасность заиливания отсутствует.

4. Трубы, имеющие один или два ряда перфорации, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга следует укладывать отверстиями вниз.

б) Трубы гладкостенные и гофрированные с продольно-параллельной щелевой перфорацией

На рис. 18, а представлен график зависимости дренажного стока от числа рядов щелей m ; общая площадь перфорации постоянная — $10 \text{ см}^2/\text{пог.м}$. Как видим, с увеличением числа рядов щелей резко увеличивается водозахватная способность дрен без фильтра. При наличии фильтра из стеклохолста возрастание приточности наблюдается только с увеличением m до 2—3. При $m>3$ водозахватная способность дрен практически не увеличивается. Нужно стремиться к более равномерному распределению щелей по поверхности трубы. В то же время не целесообразно устраивать более шести рядов перфорации.

Увеличение расстояния между щелями в ряду S с 45 до 105 мм и соответственно уменьшение площади перфорации с 40 до $17,1 \text{ см}^2/\text{пог.м}$ при $m=6$ незначительно влияет на сток. Без фильтров приток к дренам уменьшается на 7,7, а при обертке труб стеклохолстом только на 0,6%, хотя площадь перфорации сокращается в 2,5 раза. Значит, стремиться к значительному увеличению площади перфорации в пластмассовых дренажных трубах нет необходимости. Вполне достаточной водоприемной поверхностью следует считать $10\text{—}15 \text{ см}^2/\text{пог.м}$.

Трубы с продольно-щелевой перфорацией благодаря значительной водоприемной площади ($10\text{—}30 \text{ см}^2/\text{пог.м}$

Таблица 7

Номер опыта	Форма стенок трубы	Наружный диаметр D, мм	Форма и расположение	Перфорация				Способ защиты (в повторных опытах)	Фактический сток при 18°, см³/сек		$\frac{Q_2}{Q_1}$	Отношение фактического стока к стоку пористой дрены Q_1/Q_0		
				шаг S, мм	размер d, мм или $\pi \times l$, мм	число рядов, m	площадь F, см²/пог. м		без фильтра Q_1	с фильтром Q_2		без фильтра	с фильтром	
1	Кольцевые гофры	50	Круглые отверстия во впадинах гофров	10	1,5	1	1,77	Круговая обертка стеклохолстом ВВ-Т	9,8	58,3	5,95	0,122	0,730	
2		50		10	1,5	1	1,77		23,5	65,0	2,76	0,263	0,729	
3		50		10	1,5	2	3,54		23,5	81,5	3,47	0,263	0,914	
4		50		10	1,5	3	5,31		36,6	83,0	2,27	0,411	0,931	
5		50		10	1,5	4	7,08		36,2	86,0	2,38	0,406	0,965	
6		50		10,5	1,0	6	4,05		43,0	81,0	1,88	0,482	0,909	
7	Винтовые гофры	70	Продольные щели	60	0,4×25	6	10,0		65,7	94,8	1,44	0,653	0,972	
8		40		60	1,2×25	6	30,0		73,7	85,5	1,15	0,880	1,018	
9		50		45	1,0×30	6	40,0		73,1	80,3	1,10	0,821	0,900	
10		50		60	1,0×30	6	30,0		68,7	82,7	1,20	0,771	0,928	
11	Гладкие	50		105	1,0×30	6	17,1		67,5	79,9	1,18	0,758	0,897	
12	Винтовые гофры	40	Конусные отверстия	40	1,8—1,0	6	4,72	Полоски стеклохолста 10 см над трубой	0,05	74,1	1480	0,060	0,884	
13		40		40	1,8—1,0	6	4,72		0,05	44,3	886	0,060	0,527	
14		55		12	1,5*	6	8,86		36,5	77,8	2,13	0,399	0,520	
15		55		12	1,5	6	8,86		36,5	46,0	1,26	0,399	0,583	
16	Гофры	55	Круглые отверстия во впадинах гофров	7	1,0	3	3,33		35,7	13,7	0,38	0,391	0,592	
17		70		500	5,0	1	11,0		—	77,3	—	—	0,175	
18		70		500	1,0	1	2,2		28,0	53,7	1,92	0,287	0,500	
19	Гончарные	70	Поперечная щель	500	1,0	1	2,2		Обсыпка гравием	32,1*	97,7*	3,04	0,329	1,0

* — расчетные данные.

при $m=6$) обладают несколько большей водозахватной способностью, чем трубы с круглой перфорацией, у которых $F=4,5-7,0 \text{ см}^2/\text{пог.м.}$ Однако при обертке труб стеклохолстом разницы в дренажном стоке практически нет (табл. 7). Фильтр у труб со щелевой перфорацией увеличивает сток на 10—58%. Основной недостаток щелевой перфорации — значительное ослабление жесткости кольца трубы. Приходится увеличивать толщину стенок по сравнению с трубами с круглой перфорацией.

в). Гладкостенные трубы с круглой конусной перфорацией

Гладкостенные полиэтиленовые трубы, перфорация в которых устраивается методом прокалывания иглами, имеют конусность отверстий, направленную внутрь, обладают повышенной прочностью и практически не подвергаются механическому заилению. Однако при отсутствии фильтра отверстия неизбежно заклиниваются частицами грунта, что очень сильно уменьшает поступление воды в дрены и снижает сток в 100 раз и более (табл. 7). Поэтому укладывать такие дрены в несвязных грунтах без защитных фильтров нельзя. Круговая обертка труб стеклохолстом препятствует кольматации конусных отверстий и обеспечивает хорошую водозахватную способность их. Сток может достигь 88% от стока «идеальной» дрены.

г). Трубы с гофрами, расположенными по винтовой линии

Эти трубы обладают неоспоримым преимуществом перед другими конструкциями, заключающемся в простоте, дешевизне и надежности защиты их от механического заиления. При этом осуществляется она одновременно с экструзией труб. Например, фирма Drossbach (ФРГ) защищает трубы жгутом перлоновых волнистых волокон, наматываемых на трубу по впадинам гофров. Там же располагаются и перфорационные отверстия. По аналогии НИИСТ изготовил опытную партию таких труб с защитой жгутом стеклянных нитей. Однако практика показала, что дрены данной конструкции обладают недостаточной водозахватной способностью. Так, если при круговой обертке дрен стеклохолстом (опыт № 15, табл. 7) сток увеличился в 2,13 раза, то при укладке стеклонитей по впадинам гофров (опыт № 16) он уменьшился в 2,6 раза по сравнению с незащищенной дренажной трубой. В данном случае плотно укладываемые во впадинах гоф-

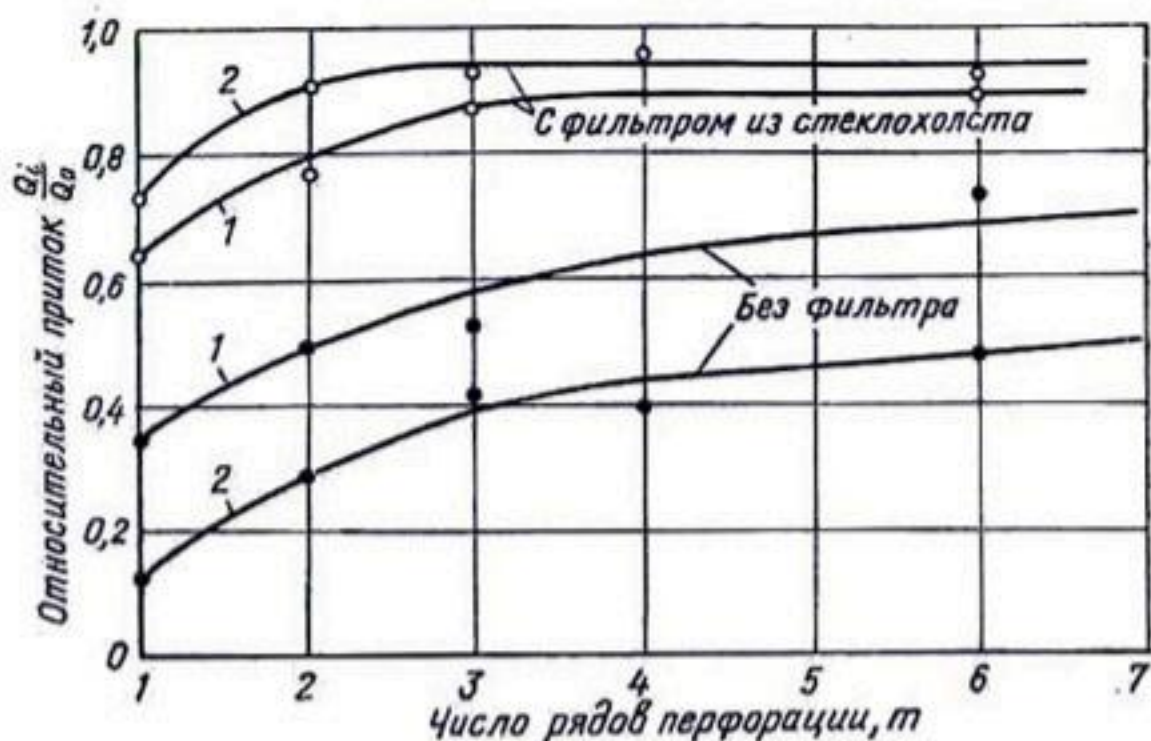


Рис. 19. Зависимость $\frac{Q_i}{Q_0} = f(m)$:

1 — трубы гладкостенные со щелевой перфорацией; 2 — гофрированные с круглой перфорацией.

ров нити почти полностью закрывают отверстия и создают большие дополнительные сопротивления поступлению воды в дрены. Эйлерс [70] считает, что дрены из гофрированных труб, защищенных жгутом перлоновых волокон, с течением времени плохо отводят воду, и не рекомендует их применять.

Таким образом, фильтры, служащие для защиты дренажных труб от механического заиливания, помимо прямого своего назначения весьма существенно влияют на водозахватную способность дрен. Наличие их, как правило, создает такие условия, в которых несовершенные по характеру вскрытия пласта трубы приближаются по осушительному действию к пористым. Однако и здесь сказываются конструктивные особенности: зависимость

$\frac{Q_i}{Q_0} = f(m)$ для разных конструкций дрен различная (рис. 19). Так, у гладкостенных труб со щелевой перфорацией фильтр из стеклохолста увеличивает приточность на 85—21 (при $m=1-6$), а у гофрированных с круглой перфорацией на 247—88%. Если гладкостенные трубы со щелевой перфорацией без фильтра обладают большей водозахватной способностью, чем гофрированные с круглыми отверстиями, то при наличии фильтров из стеклохолста наблюдается обратное соотношение. Фильтр, уло-

женный вокруг гофрированной трубы, создает более благоприятные условия приточности воды. Естественно, при назначении расстояний между дренами необходимо учитывать наличие или отсутствие фильтров, а также конструктивные особенности труб.

§ 7. Метод расчета расстояний между дренами

В практике проектирования дренажа расстояние между дренами рассчитывают по формулам А. Н. Костякова, С. Ф. Аверьянова, Х. А. Писарькова, А. И. Ивицкого, В. А. Ионата и др. [9]. Однако ни одна из них не учитывает конструктивных особенностей дренажных труб и влияния защитных фильтров. При выводе указанных уравнений предполагалось, что трубы являются «идеальными», т. е. принимают воду всей своей поверхностью. В применяемых же в настоящее время дренажных трубах водоприемные щели или отверстия располагаются на значительных расстояниях друг от друга, и к дренам меньше поступает воды, чем принимается в расчетах. С другой стороны, в формулах практически не учитывается влияние защитных фильтров. Во «Временных технических указаниях по проектированию закрытых осушительных систем» [9] указывается только, что расчетный диаметр дрена принимается равным внешнему диаметру фильтра или внешнему диаметру дрена при отсутствии фильтра.

Если фильтр выполнен из песчано-гравийной смеси или других объемных материалов, подобранных соответствующим образом, то первое из указанных положений будет правильным и расчеты дадут удовлетворительные результаты. Второе положение неверно для всех применяемых в настоящее время конструкций дренажных труб. Расчеты будут давать завышенные расстояния между дренами. В зоне избыточного увлажнения нашей страны укладка дренажа с песчано-гравийным фильтром применяется чрезвычайно редко из-за очень больших трудовых затрат и стоимости. В Белоруссии дренажные трубы в настоящее время защищают почти исключительно стеклохолстом. Этот же материал получил широкое распространение в Прибалтийских республиках и в ряде областей РСФСР. Естественно, стеклохолст на приточность воды к дренам влияет не так, как песчано-гравийный фильтр. На плотных торфяниках, тяжелых гли-

нистых почвах и некоторых несвязных грунтах (крупно- и среднезернистые пески) защитные фильтры нередко не применяются.

Влияние фильтров на приточность воды к дренам можно учесть специальным коэффициентом, названным нами «коэффициентом обкладки». Приток воды к одиночной горизонтальной дрене, несовершенной по характеру вскрытия пласта и имеющей фильтр, определим по зависимости

$$Q = \frac{2\pi k_{\phi} HL}{\ln \frac{4t}{D} + \eta C_i}, \quad (1.53)$$

где C_i — коэффициент несовершенства водоприемной поверхности дрена, определяемый уравнениями (1.8), (1.11), (1.31), (1.45) и (1.48);

η — коэффициент обкладки, изменяемый от 0 до 1. При отсутствии фильтра вокруг дрены $\eta=1,0$. Если он достаточной толщины и с большой водопроницаемостью, несовершенная дрена работает как пористая («идеальная»); тогда $\eta=0$. Найти общую аналитическую зависимость, определяющую изменения η в пределах от 0 до 1, в настоящее время не представляется возможным из-за чрезвычайной сложности явления и большого числа входящих факторов. Однако для любого сочетания дрена—фильтр (по конструкции) числовые значения η можно найти экспериментальным путем, например определив в грунтовом лотке фактический сток воды из дрена с фильтром. Значения коэффициента η можно определить по зависимости

$$\eta_i = \frac{1}{C_i} \left(\frac{2\pi k_{\phi} HL}{Q_{\phi}} - \Phi_i \right), \quad (1.54)$$

где Q_{ϕ} — фактический сток из дрены при 18° ;

Φ_i — фильтрационные сопротивления, определяемые граничными условиями опыта.

Если опыт проводить в грунтовом лотке по схеме подрусловой дрены, то Φ_i определяется уравнением (1.50).

В табл. 8 представлены результаты опытов и вычисленные значения коэффициентов η для различных конструкций дренажных труб, уложенных с круговым фильтром из стеклохолста. Данные ее говорят о незначительных

Таблица 8

Дренажные трубы	Наружный диаметр D , см	Размер перфорации, см				Число рядов перфорации m	Угол между рядами перфорации φ	Напор H , см	Коэффициент C_1	Фильтрационное сопротивление Φ	Сток при 18°Q , см ³ /сек	Коэффициент обкладки γ	Формула для коэффициента C_1
		ширина τ	диаметр d_0	длина l	шаг S								
Гладкостенные из ПВХ	5,0	0,10	Сплошная			1	—	73,5	9,217	4,535	58,6	0,252	1.31
Гофрированные из ПВХ	5,0	—	0,15 — 1,0			1	—	73,5	14,0	4,535	58,3	0,246	1.8
Те же	5,0	—	0,15 — 1,0			1	—	73,5	14,0	4,535	65,0	0,187	1.8
Гладкостенные из ПВХ	5,0	0,10	Сплошная			2	23	73,5	5,521	4,535	72,6	0,178	1.48
Те же	5,0	3,00	— 3,0 6,0			2	23	73,3	12,430	4,535	69,3	0,100	1.45
Гофрированные из ПВХ	7,5	0,04	— 2,5 3,5			6	60	71,0	1,650	4,084	94,8	0,005	1.45
Гладкостенные из ПВХ	5,0	0,10	— 3,0 10,5			6	60	71,0	4,722	4,535	79,9	0,070	1.45
Те же	5,0	0,10	— 3,0 4,5			6	60	71,0	1,601	4,535	80,3	0,180	1.45
Те же	5,0	0,10	— 3,0 6,0			3	120	71,0	5,607	4,535	77,7	0,121	1.45
Те же	5,0	—	0,15 — 1,0			3	120	71,0	4,510	4,535	83,0	0,074	1.8
Те же	5,0	—	0,10 — 1,05			6	3	71,0	4,760	4,535	81,0	0,097	1.8
Гончарные	7,0	0,10	— — 50,0			—	—	71,0	6,290	4,176	53,7	0,488	1.11
Те же	7,0	0,50	— — 50,0			—	—	71,0	5,090	4,176	77,3	0,165	1.11
Гофрированные из ПВХ	4,5	0,10	— 0,13 0,5			3	120	71,0	12,175	4,650	65,8	0,124	1.45

колебаниях числовых значений η для одной и той же конструкции трубы в зависимости от размеров перфорации. Однако для разных конструкций дрен значения коэффициента η существенно отличаются. Так, для гофрированных пластмассовых труб при $m=3-6$ с фильтром из стеклохолста $\eta=0,07-0,10$; гончарных с тем же фильтром $\eta=0,165-0,488$. Объясняется это существенным различием в равномерности расположения, форме и размерах водоприемных отверстий. Для практических расчетов можно пользоваться значениями коэффициента обкладки η , приведенными в табл. 9.

Таблица 9

Дренажные трубы	Коэффициент обкладки η при обертке труб стеклохолстом
Гофрированные $D=50$; $d_0=1,4 \pm 0,2$; $S=5-10$ мм; $m=3-6$	0,07—0,10
Гофрированные и гладкостенные $D=40-50$; $\tau=1-2$; $l=15-20$ мм; $S=(2-3)l$; $m=1$	0,20—0,25
Те же, $m=2$; $\varphi=20-30^\circ$	0,10—0,20
Те же, $m=3-6$	0,07—0,18
Гончарные $D_{\text{вн}}=50$; $\tau_1=1-3$; $S_1=330$ мм	0,20—0,50
Пластмассовые и гончарные без фильтров	1,0
Те же, с песчано-гравийным фильтром	0

В мелиоративной практике СССР расстояние между дренами при установившемся движении чаще всего рассчитывают по формулам А. Н. Костякова [17] и С. Ф. Аверьянова [3]. Формула А. Н. Костякова применима для случая однородного грунта, глубокого залегания водоупора $\left(\frac{B}{T} < 3\right)$ и имеет вид

$$B = \frac{\pi k_{\phi} H}{q \left(\ln \frac{B}{D} - 1 \right)}. \quad (1.55)$$

Формулу С. Ф. Аверьянова для однородного грунта и неглубокого залегания водоупора $\left(\frac{B}{T} \geq 3\right)$ можно записать как

$$B = \sqrt{B_0^2 + (TB_2)^2} - TB_2, \quad (1.56)$$

$$B_0 = 2H \sqrt{\frac{k_\phi}{q} \left(1 + \frac{2T}{H}\right)}; \quad (1.57)$$

$$B_2 = \frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{D}{T}}; \quad (1.58)$$

B_2 — коэффициент, учитывающий несовершенство дрен по степени вскрытия пласта;

B — расстояние между дренами;

T — расстояние от оси дрены до водоупора;

q — средний за расчетный период приток к дренам в метрах слоя воды, определяемый, например, по [9].

Формулы А. Н. Костякова и С. Ф. Аверьянова выведены для случая пористых дренажных труб («идеальных»), приток к которым выражается уравнением (1.3). Поскольку для несовершенных по характеру вскрытия пласта дрен приток при наличии фильтра выражается уравнением (1.53), стоящий в знаменателе формулы (1.55) член $\left(\ln \frac{B}{D} - 1\right)$, представляющий собой фильтрационные сопротивления пористых труб, должен быть дополнен величиной добавочных сопротивлений, обусловленных несовершенством водоприемной поверхности дрен и наличием защитного фильтра, т. е. членом ηC_i . Следовательно, формулу А. Н. Костякова, дополненную с учетом несовершенства конструкции дрены и влияния фильтра, запишем таким образом

$$B = \frac{\pi k_\phi H}{q \left(\ln \frac{B}{D} + \eta C_i - 1\right)}. \quad (1.59)$$

Исходя из тех же предпосылок, коэффициент B_2 в формуле С. Ф. Аверьянова, учитывающий фильтрационные сопротивления, вызываемые несовершенством дрены по степени вскрытия пласта, должен быть дополнен членом ηC_i . Тогда

$$B'_2 = \frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{D}{T}} + \eta C_i \right). \quad (1.60)$$

Обозначив

$$\Gamma_i = \frac{4}{\pi} C_i \quad (I.61)$$

и подставив (I.60) в (I.56), получим

$$B = \sqrt{B_0^2 + [T(B_2 + \eta \Gamma_i)]^2} - T(B_2 + \eta \Gamma_i). \quad (I.62)$$

Формулы (I.59) и (I.62) применимы при укладке дренажа в однородных грунтах. Расстояния между дренажами в двухслойных грунтах можно определять по тем же формулам с заменой в них значений k_ϕ , H и T на расчетные k_p , H_p и T_p по приведенным ниже зависимостям, предложенным Д. Д. Мыкалом [9]:

а) дренаи в верхнем слое (рис. 20)

$$k_p = k_1; \quad H_p = H; \\ T_p = \sqrt{(H+z)^2 + (2H+2z+h_2)h_2 \frac{k_2}{k_1}} - H; \quad (I.63)$$

б) дренаи в нижнем слое

$$k_p = k_2; \quad T_p = T \\ H_p = \sqrt{\frac{k_1}{k_2} (H-z)^2 - (2H-2z+h_2)} - T, \quad (I.64)$$

где k_1 и k_2 — коэффициент фильтрации соответственно верхнего и нижнего слоев, м/сек;

z — расстояние от дренаи до линии раздела слоев, м;

h_1 , h_2 — мощность (высота) верхнего и нижнего слоев, м.

Расстояние между дренами для случая неустановившейся фильтрации и глубокого залегания водоупора рекомендуется рассчитывать по дополненной нами формуле А. Н. Костякова:

$$B = \frac{\pi k_\phi t_1}{\varphi \delta \left(\ln \frac{B}{D} + \eta C_i - 1 \right) \ln \frac{h_1}{h_2}}. \quad (I.65)$$

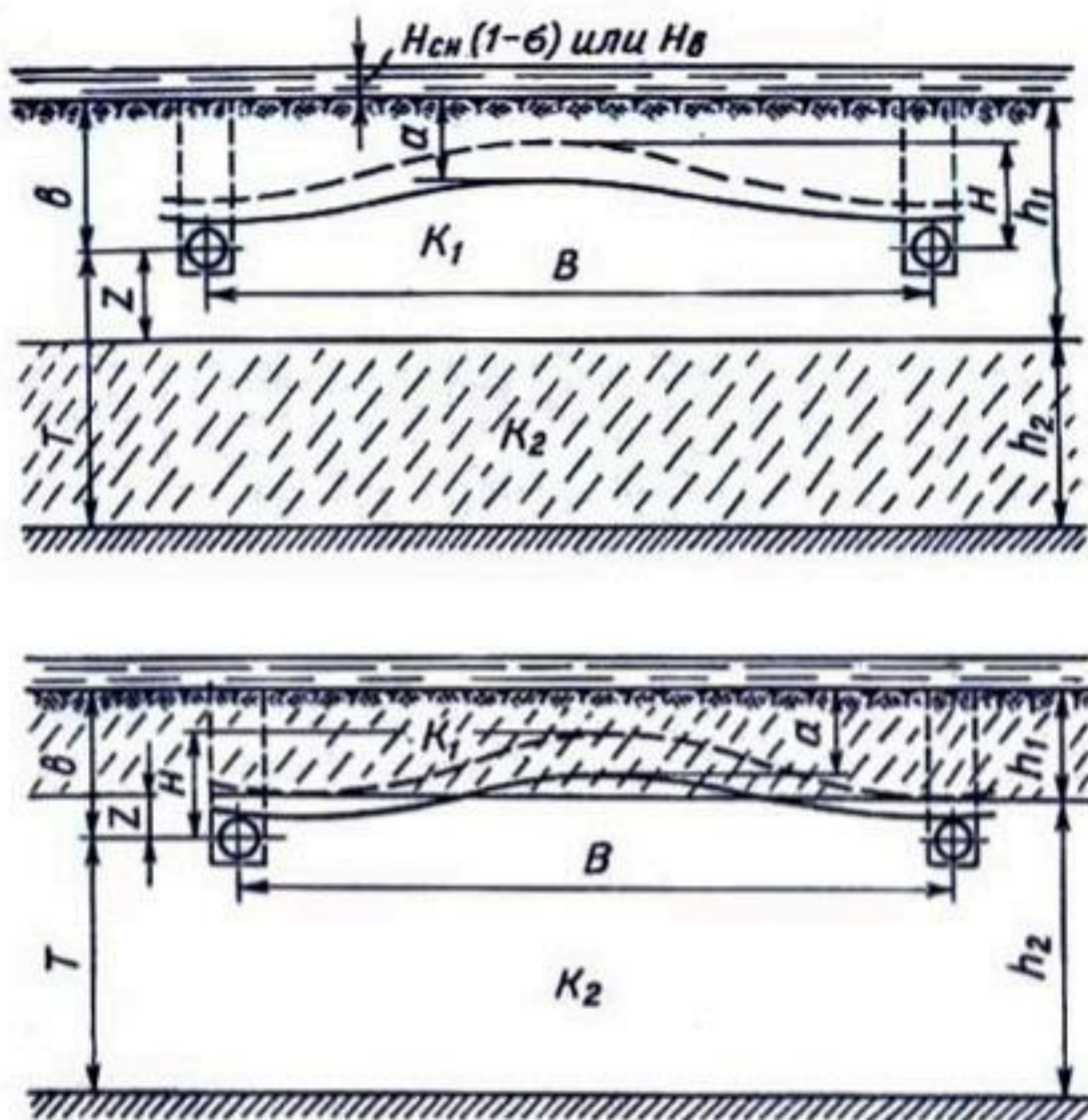


Рис. 20. Схемы к расчету расстояний между дренами в двухслойных грунтах.

Для случая неглубокого залегания водоупора применима дополненная нами формула С. Ф. Аверьянова

$$B = 2 \sqrt{\frac{k_{\Phi} T \tau_0 \alpha_1}{\delta}}, \quad (I.66)$$

где

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \frac{T}{B} \left(B_2 + \eta \Gamma_t \right)}. \quad (I.67)$$

В формулах (I.65) и (I.66)

Φ — коэффициент, учитывающий форму депрессионной кривой;

δ — коэффициент водоотдачи;

τ_0 — время стабилизации;

h_1 — действующий напор в середине междренья в момент времени $t=0$;

h_2 — то же, в конечный момент времени $t=t_1$.

Остальные обозначения прежние.

Таким образом, приведенный выше метод расчета расстояний между дренами по дополненным формулам А. Н. Костякова и С. Ф. Аверьянова позволяет учесть как конструктивные несовершенства труб, так и влияние защитных фильтров.

Чтобы сопоставить пластмассовые дренажные трубы различных конструкций между собой, а также с гончарными и пористыми («идеальными») и оценить влияние защитных фильтров, по приведенным выше формулам были вычислены расчетные расстояния между дренами как при отсутствии фильтров, так и с оберткой труб стеклохолстом. Исходные параметры представлены в табл. 10.

Таблица 10

Дренажная труба	Диаметр, D	Ширина щели, τ	Коэффициент обкладки, η
	мм		
Пористая («идеальная»)	70	—	0
Гончарная, $S_1=33$ см	70	1,0	0,35
Полиэтиленовая, $m=6$, $l=30$; $S=75$ мм	50	1,0	0,05
Пленочная («молния») $m=1$ (сплошная)	50	1,0	1,0

Вычисления выполнены на ЭВМ «Промінь» при следующих условиях: $k_{\phi}/q = 20, 60, 100, 150, 200$ и 300 ; $H = 60, 80, 100$ и 120 см; $T = 1, 2, 5$ и 10 м; грунт однородный, фильтрация установившаяся. В качестве примера в табл. 11 представлены расчетные расстояния между дренами из полиэтиленовых труб $D=50$ мм с продольно-щелевой перфорацией в 6 рядов размером 30×1 и шагом 75 мм при наличии фильтра из стеклохолста. По результатам выполненных расчетов построены графики $B=f\left(\frac{k_{\phi}}{q}\right)$

для различных значений напора H и глубины залегания водоупора T (рис. 21). Из рисунка видно, что максимальные расстояния должны быть между дренами из пористых («идеальных») труб, а для всех применяемых на практике — значительно меньше. При этом в порядке сгущения дренажной сети трубы можно расположить в следующей последовательности: пластмассовые экструдированные (гофрированные и гладкостенные) с фильтром

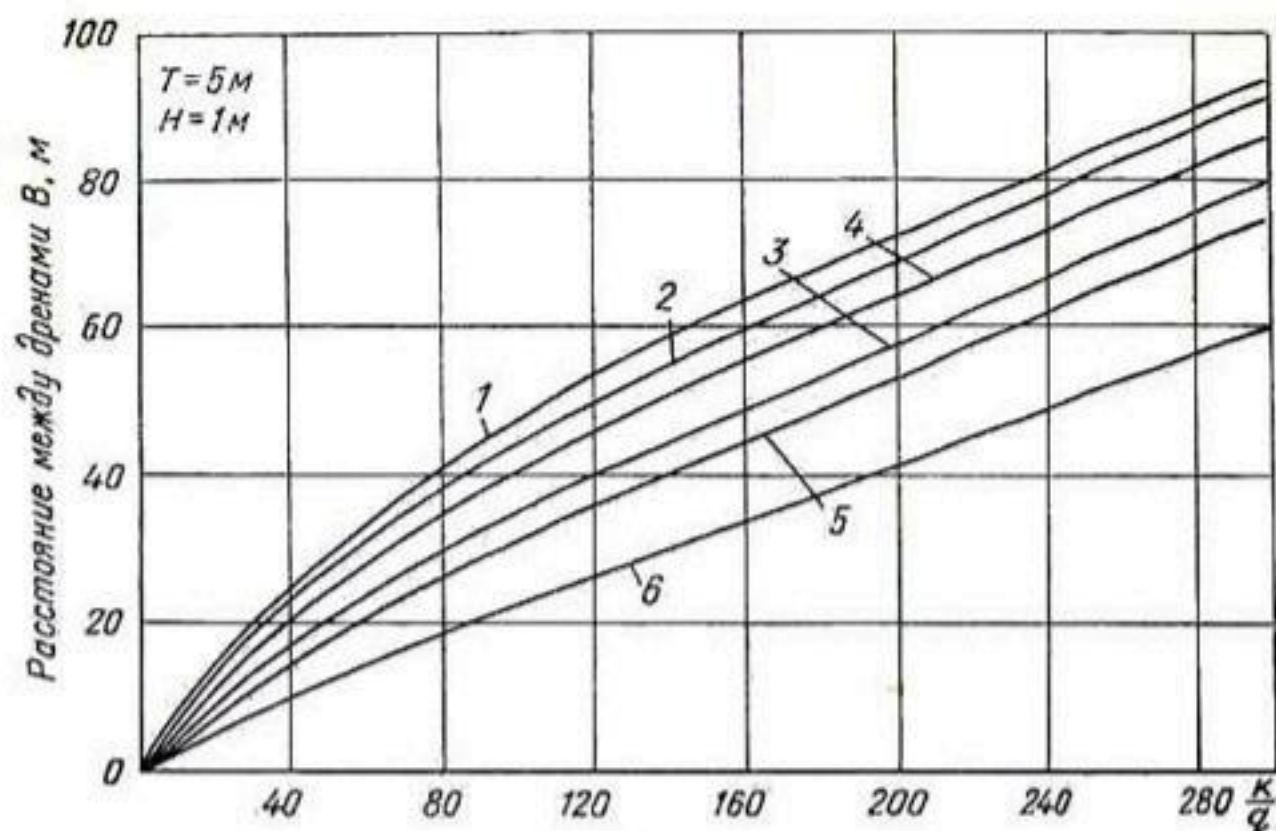


Рис. 21. Зависимость $B = f\left(\frac{k}{q}\right)$ при $T=5$ м; $H=1$ м:

1 — дрена из пористых труб $D_{\text{н}}=7$ см; 2 — дрена из полиэтиленовых труб $D_{\text{н}}=5$ см с фильтром из стеклохолста ВВ-Г; 3 — то же, без фильтра; 4 — дрена из гончарных трубок с фильтром из стеклохолста; 5 — то же, без фильтра; 6 — дрена из пленочных труб типа «молния» $D_{\text{н}}=5$ см, без фильтра.

из стеклохолста, гончарные с тем же фильтром, пластмассовые без фильтра, гончарные без фильтра и пленочные («молния», «нахлестка»). Если между пластмассовыми экструдированными трубами с фильтром расстояния должны быть уменьшены относительно не на много по сравнению с пористыми трубами, то между пленочными, укладываемыми, как правило, без фильтра, уменьшение получается почти двукратным. При $T=5,0$ и $H=1,0$ м расстояния между применяемыми в настоящее время полиэтиленовыми дренами с фильтром из стеклохолста должны быть меньше, чем между пористыми, на 3,5—9,2%. При этом, чем меньше отношение k/q , т. е. чем больше относительная водная нагрузка на дренаж, тем больше разница. Расстояния между гончарными дренами должны быть меньше, чем между пористыми, на 10,3—22,2%. Если дрена укладывается без фильтра, то расчетные расстояния должны назначаться меньше по сравнению с пористыми трубами в среднем на 28,7% при использовании пластмассовых дрен и на 31,3% — гончарных.

Т а б л и ц а 11

Т, м	Н, м	Расстояние между дренами В, м при k/q , равном					
		20	60	100	150	200	300
1	0,6	8,2	16,2	21,7	27,3	32,0	40,0
	0,8	10,4	20,0	26,7	33,4	39,0	48,6
	1,0	12,4	23,6	31,4	39,1	45,7	56,7
	1,2	14,4	27,1	35,9	44,7	52,1	64,5
2	0,6	8,6	18,5	25,7	32,9	39,1	49,6
	0,8	10,9	22,9	31,5	40,1	47,4	59,8
	1,0	13,1	27,0	37,0	46,8	55,2	69,3
	1,2	15,3	31,1	42,1	53,1	62,5	78,3
5	0,6	8,7	20,5	29,9	40,1	49,0	64,1
	0,8	11,0	25,7	37,4	49,6	60,1	78,1
	1,0	13,3	30,8	44,3	58,3	70,3	90,7
	1,2	15,4	35,6	50,8	66,5	79,8	102,5
10	0,6	8,7	21,6	31,2	43,4	54,4	73,7
	0,8	11,1	27,6	39,8	54,8	68,1	91,3
	1,0	13,3	31,7	47,9	65,4	80,7	107,3
	1,2	15,4	37,1	55,6	73,3	92,5	122,2

Как видно из графиков рис. 21, фильтры из стеклохолста существенно влияют на расчетные расстояния между дренами. При этом большое значение имеет тип (конструкция) дренажных труб. Так, гончарные дрена с фильтром можно укладывать с большими расстояниями, чем пластмассовые без него. Если же у последних имеется фильтр, то расстояние между дренами должно быть большим, чем для гончарных труб. Укладка фильтра из стеклохолста позволяет увеличивать расстояния между дренами в среднем на 24%.

Приведенный выше метод дает возможность более обоснованно по сравнению с ранее существующими назначать расчетные расстояния между дренами. Кроме того, в тех случаях, когда допускается укладка дренажа без защитных от заиливания фильтров, имеется возможность оценить, что экономически выгоднее: применять фильтры и увеличивать расстояния между дренами или давать меньшие расстояния, но не устраивать фильтров.

По нашим расчетам, почти во всех случаях (за исключением применения песчано-гравийной смеси) устройство фильтров экономически целесообразно.

§ 8. Удельные контактные сопротивления

Применяемые в настоящее время пластмассовые дренажные трубы по конструктивному решению отличаются большим разнообразием. Часто размеры, форма и расположение перфорации не строго заданы, т. е. геометрия ее очень сложная, и получить теоретические решения не удастся. При исследовании водозахватной способности дренажных труб и решении вопросов о выборе наиболее рациональных их конструкций не всегда имеется возможность заранее дать объективную сравнительную оценку. Наряду с этим для защиты дрен от заиления можно применять самые разнообразные материалы, фильтрационные и защитные свойства которых весьма существенно отличаются. Естественно, с изменением грунтовых условий и конструкций труб будет изменяться и эффективность того или иного фильтра.

Решить указанные вопросы теоретически во многих случаях не представляется возможным из-за сложности и недостаточной изученности взаимодействия грунта, фильтра и трубы при фильтрации воды. В процессе работы дренажа может происходить кольматация фильтров и перфорации в трубах или, наоборот, суффозионный вынос мелких частиц с образованием в придренной области слоя повышенной проницаемости. Единственным объективным критерием при оценке преимуществ и недостатков той или иной конструкции дренажной трубы и выборе фильтра для конкретных грунтовых условий является эксперимент. Однако необходимо иметь какой-то определенный параметр, который являлся бы константой для данной конструкции труб, типа фильтра и разновидности грунта. Таким параметром в известной степени может служить величина так называемого «контактного сопротивления», предложенного Г. М. Мариупольским [24]. Общие потери напора H при движении жидкости в форме грунтовой воды от междренья к полости дрены в случае трубчатого (пластмассового, гончарного и др.) дренажа можно условно разделить на две категории:

1) потери напора для случая «идеальной» дрены

(h_0), т. е. дрены без стенок и при отсутствии изменения в придренной зоне;

2) дополнительные потери (h_c), обусловленные несовершенством конструкции дренажной трубы и изменениями в придренной области.

Таким образом,

$$H = h_0 + h_c. \quad (I.68)$$

В общем случае приток к горизонтальной дрене определяют уравнением (I.4). Решив его относительно H , получим

$$H = h_0 + h_c = \frac{Q_i}{2\pi k_\phi} \ln \frac{4t}{D} + \frac{Q_i C_i}{2\pi k_\phi}. \quad (I.69)$$

Стоящий в правой части уравнения (I.69) первый член определяет потери напора для случая «идеальной» дрены h_0 , а второй — дополнительные сопротивления (h_c), вызванные несовершенством ее конструкции и изменениями в придренной области. При одномерной фильтрации через образец грунта высотой l и площадью F расход воды по известной аналогии с протеканием электрического тока через проводящую среду можно выразить формулой

$$Q = \frac{h_0}{R_0}, \quad (I.70)$$

где R_0 — гидравлические сопротивления образца грунта $R_0 = l/Fk_\phi$.

Непосредственно в зоне контакта его с трубчатой дреной (грунт—фильтр—дрена), стенки которой частично закрывают поры грунта, возникают добавочные сопротивления

$$R_c = \frac{\omega_c}{F} = \frac{\omega_c}{\pi D}. \quad (I.71)$$

Здесь ω_c — удельное контактное сопротивление, отнесенное к единице площади и имеющее размерность времени.

В общем случае

$$Q_i = \frac{H}{R_0 + R_c} = \frac{h_0 + h_c}{R_0 + R_c}.$$

Отсюда для трубчатого дренажа с учетом уравнений (1.70) и (1.71) найдем

$$h_c = \frac{Q_c \omega_c}{\pi D}. \quad (1.72)$$

Приравняв величины h_c по уравнениям (1.69) и (1.72), получим

$$C_i = \frac{2k_\phi \omega_c}{D}. \quad (1.73)$$

Определяемая уравнением (1.73) величина коэффициента C_i обуславливается не только несовершенством дрен по характеру вскрытия пласта и наличием фильтра, но и рядом изменений, происходящих в придренированной области и развивающихся во времени. Контактное сопротивление ω_c надо рассматривать как некоторую приведенную величину добавочных сопротивлений, рассеянных в придренированной области неизвестным образом, но условно отнесенных к плоскости контакта грунта и дрены. Числовые значения ω_c можно определить экспериментально. Если опыты проводить в грунтовой лотке по схеме подрусовой дрены, то из уравнений (1.49), (1.50) и (1.73) получим

$$\omega_c = D \left\{ \frac{\pi HL}{Q_\phi} - \frac{1}{2k_\phi} \ln \left[\operatorname{tg} \frac{\pi(4t - D)}{8T_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_1} \right] \right\}, \quad (1.74)$$

где Q_ϕ — фактический дренажный сток для данного конкретного сочетания грунт—фильтр—дрена.

Величины удельного контактного сопротивления для более распространенных конструкций дрен были определены в грунтовой лотке (рис. 10). Цифровые данные, характеризующие трубы, и вычисленные значения ω_c представлены в табл. 12 и 13. На рис. 22 отображена зависимость удельных контактных сопротивлений от площади перфорации труб 1—7 (табл. 12), уложенных без фильтра. Как видно из графика, с увеличением площади перфорации контактные сопротивления резко уменьшаются, и для данных грунтовых условий (среднезернистый песок) вполне достаточно 10 см² отверстий на 1 пог. м

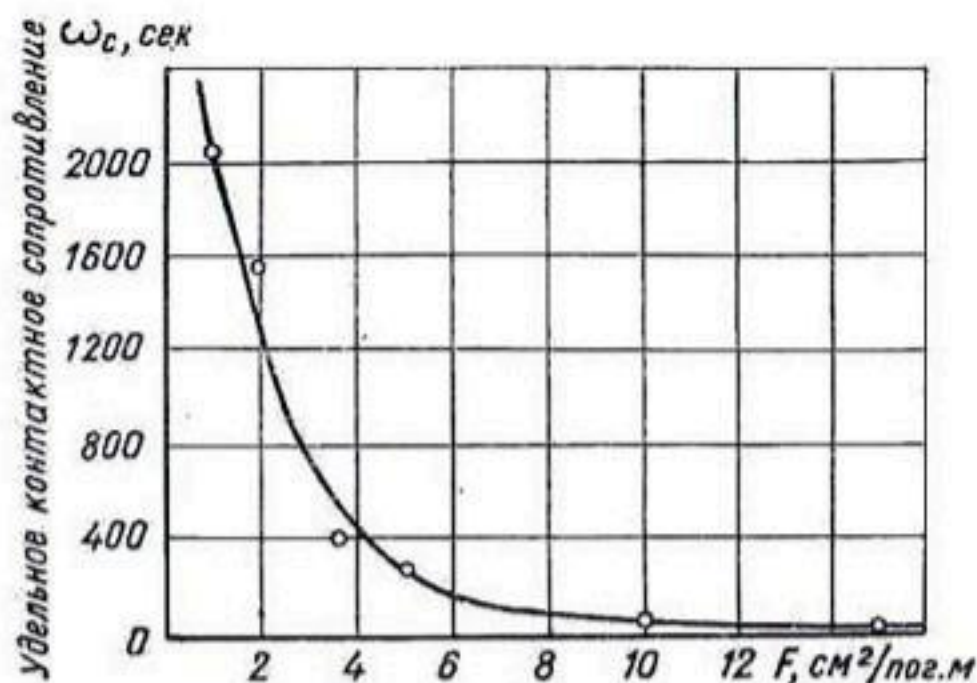


Рис. 22. Зависимость $\omega_c = f(F)$.

трубы. Фильтры из стекломатериалов уменьшают или увеличивают контактные сопротивления. Из приведенных в табл. 13 результатов опытов с трубами № 6, 8—11 видно, что наиболее подходящим фильтром в данном грунте является стеклохолст и стекловата. Стеклоткань в качестве фильтров не рекомендуется, так как уменьшает приточность воды к дренам. Это обусловлено малыми фильтрационными ходами в ней, вследствие чего происходит колыматаж отверстий между нитями.

Достоверность метода удельных контактных сопротивлений можно проверить, сопоставив приток воды к дренам, подсчитанным по теоретическим формулам (I.31) и (I.45), и формуле

$$Q_w = \frac{2\pi k_{\phi} H L}{\ln \frac{4t}{D} + \frac{2k_{\phi} \omega_c}{D}} \quad (I.75)$$

В табл. 15 приведены результаты вычислений при следующих исходных данных: $k_{\phi} = 13$ м/сек; $H = 1,0$; $L = 1,0$; $t = 1,0$ м. Параметры дренажных труб приняты по табл. 12, значения коэффициента обкладки η — по табл. 9 и ω_c — по табл. 13.

Как видим из таблицы, расхождения между притоком, определенным по теоретическим формулам и методом удельных контактных сопротивлений, в основном незначительны. Следовательно, этот метод дает вполне надежные результаты. Однако, если область применения

Таблица 12

Номер	Вид труб	Размер шелей, мм		Наружный диаметр D, мм	ширина	Длина l	Диаметр отверстий d ₀ , мм	Число рядов перфорации m	Шаг перфорации S, мм	Число отверстий на 1 пог. м	Площадь перфорации F, см ² /пог. м	Фильтр
1	Гладкостенная, ПВХ	.	.	42	—	—	2	4	125	32	1,0	Без фильтра
2	»	.	.	42	—	—	2	4	62,5	64	2,0	»
3	»	.	.	42	—	—	2	4	37,5	112	3,5	»
4	»	.	.	42	—	—	2	8	50	160	5,0	»
5	»	.	.	42	—	—	2	8	33	240	7,5	»
6	»	.	.	42	—	—	2	8	25	320	10,0	»
7	»	.	.	42	—	—	2	8	16,6	480	15,0	»
8	»	.	.	42	—	—	2	8	25	320	10,0	Стеклохолст ВВ-Г
9	»	.	.	42	—	—	2	8	25	320	10,0	Стеклоткань Э-0,008
10	»	.	.	42	—	—	2	8	25	320	10,0	Стеклосетка СЭ/ССГ
11	»	.	.	42	—	—	2	8	25	320	10,0	Стекловата
12	»	.	.	42	0,55	22,7	2	6	62,7	96	12,0	Без фильтра
13	Гофрированная, ПВХ (Вето)	.	.	45	1,0	1,3	—	3	4,9	615	8,0	»
14	»	.	.	45	1,0	1,3	—	3	4,9	615	8,0	Стеклохолст ВВ-Г
15	Гладкостенная, ПВХ (Ангер)	.	.	60	0,6	23,5	—	12	115,5	103	14,6	Без фильтра
16	Пленочная:	.	.	60	0,6	23,5	—	12	115,5	103	14,6	Стеклохолст ВВ-Г
17	«строчка»	.	.	50	1,35	4,0	—	3	7,0	270	14,0	Без фильтра
18	«молния»	.	.	50	«Замок»	—	—	1	—	—	9	»
19	«нахлестка»	.	.	44	«Нахлестка»	—	—	1	—	—	—	—

Таблица 13

Номер по табл. 12	Характеристика труб	Сток Q		Вынос твердых частиц, г/пог. м	Удельное контактное сопротивление $\omega_c \cdot 10^5$, сутки
		фактический при 18°, см³/сек	% к стоку «идеальной» дрены		
6	Гладкостенная, ПВХ, $D=42$, $d_0=2,0$ мм, $m=8$	48	68,0	63,6	383
8	Та же с фильтром из стеклохолста	65	92,0	11,6	31
12	Гладкостенная, ПВХ, $D=42$, $\tau=0,55$, $l=22,7$ мм, $m=6$	43,6	61,8	47,8	486
13	Гофрированная, ПВХ, $D=45$ мм (Вето)	59,8	83,1	38,2	144
14	Та же с фильтром из стеклохолста	65,8	92,0	35,0	81
15	Гладкостенная, ПВХ, $D=60$ мм (Ангер)	56,3	79,2	3,0	292
16	Та же с фильтром из стеклохолста	61,3	85,3	4,0	175
17	Пленочная, $D=50$ мм:	37,3	53,5	9,6	752
18	«молния»	37,2	53,5	100	752
19	«нахлестка»	9,7	14,3	1,6	4710

Таблица 14

Показатели	Без фильтра	С фильтром из			
		стеклохолста ВВ-Г	стеклохол-ты	стеклохол-ки СЭ/СЭГ	стеклоткань Э-0,008
Сток в % от «идеальной» дрены	67,8	91,5	91,6	69,7	25,1
Удельные контактные сопротивления $\omega_c \cdot 10^5$, сутки	383	91	81	371	2440
Вынос твердых частиц, г/пог. м.	63,6	11,6	28,6	38,2	10,0

Таблица 15

Номер по табл. 12	Диаметр D , мм	$\omega_c \cdot 10^3$, сут-ки, по табл. 13	C_I	η по табл. 9	Приток к дрине Q , м ³ /сутки		$\frac{Q_I - Q_{\omega c}}{Q_{\omega c}} \cdot \%$	Формулы для C_I
					Q_I	$Q_{\omega c}$ по (1.74)		
труб								
12	42	486	3,33	1,00	10,53	11,06	-4,5	1.45
14	45	81	11,82	0,05	16,90	16,20	+4,2	1.45
15	60	292	3,62	1,00	10,42	13,80	-33,4	1.45
16	60	175	3,62	0,10	18,82	16,44	+8,8	1.45
18	50	752	4,60	1,00	9,11	9,87	-8,3	1.31

теоретических формул практически не ограничена, то методом контактных сопротивлений можно пользоваться только в тех грунтах, в которых определялась величина ω_c . По полученным экспериментально числовым значениям удельных контактных сопротивлений ω_c можно рассчитать расстояния между дренами. Для этого применимы дополненные нами формулы А. Н. Костякова и С. Ф. Аверьянова:

$$B = \frac{\pi k_{\phi} H}{q \left(\ln \frac{B}{D} + \frac{2k_{\phi}}{D} \omega_c - 1 \right)}. \quad (1.76)$$

$$B = \sqrt{B_0^2 + \left[T \left(B_2 + \frac{2k_{\phi}}{D} \omega_c \right) \right]^2} - T \left(B_2 + \frac{2k_{\phi}}{D} \omega_c \right). \quad (1.77)$$

Таким образом, метод удельных контактных сопротивлений может служить основой для выбора конструкций дренажных труб, назначения фильтров для любого сочетания грунт—фильтр—дрена и позволяет объективно оценить как дренажную трубу, так и фильтр, определить расчетные расстояния между дренажными линиями.

§ 9. Осушительное действие пластмассового дренажа

Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства осушительное действие пластмассового дренажа изучает на построенных в 1963—1969 гг. семи участках общей площадью более 1100 га, где организовано более 170 вариантов опытов. Участки расположены в южной, центральной и северной частях Белоруссии и охватывают основные встречающиеся при осушении разновидности грунтов. Данные, характеризующие опытные участки, представлены в табл. 16, водно-физические свойства грунтов — в табл. 17.

На участке колхоза «Новый быт» Минского района заложен пленочный дренаж траншейным способом. Трубы типа «строчка», «молния», «нахлестка» изготовлены из винилпластовой каландрированной пленки толщиной 0,6 и 1,1 мм. На болотном массиве «Эсса» Крупского и в совхозе «10 лет БССР» Любанского районов дренаж выполнен из гладкостенных труб ВЗПИ. Трубы имеют

Объект	Площадь, га	Число вариантов опытов	Расстояние между дренами В, м	Дренажные трубы	Материал фильтра	Дренажные машины	Год строительства
Болотный массив «Эсса»	120	26	15, 20, 30, 50 и 60	Гладкостенные, ПВП, $D=42$ мм, $m=3$, $\tau=1,0$, $l=50$ мм	Стеклохолст	ЭТН-171	1964
Совхозы: «10 лет БССР»	180	26	40, 50, 60 и 80	«	Мох, стеклохолст, стеклоткань	ЭТН-171	1964
Им. Чапаева	580	38	15, 20, 26, 30, 45 и 60	Гофрированные, ПВП, $D=50$ мм, $m=6$, $d_0=1,1$, $S=10$ мм. Гладкостенные, ПВП, $D=40$ мм, $m=6$, $d_0=1,0$, $S=8,5$ мм	Стеклохолст	ЭТЦ-202, ЭТЦ-163	1968
Колхозы: «Рассвет»	65	21	12,5; 25; 37,5 и 50	Гофрированные, ПВХ, $D=45$ и 55 мм, $m=6$, $\tau=1,0$, $l=13$, $S=5,0$ мм. Гладкостенные, ПВП, $D=42$ мм, $m=6$, $\tau=1,0$, $l=30$, $S=70$ мм	Стеклохолст	ЭТН-171, Мара-55, ДПБН-1,8	1966
«Новый быт»	16	7	30	Виниловые пленочные типа «молния», «строчка», «нахлестка», $D=50$ мм	Без фильтров	ЭТН-171	1963
«Гвардия»	120	22	10, 15, 20	Гофрированные, ПВП, $D=50$, $m=6$, $d_0=1,1$, $S=10$ мм	Стеклохолст	ЭТЦ-202	1969
Им. Калинин	40	22	10	Гофрированные, ПВХ, $D=45$, и 55 мм, гладкостенные, ПВП, $D=42$ мм	Стеклохолст, стекловата	ЭТН-171 Мара-55	1966

Таблица 17

Объект	Осушаемый грунт	Механический состав грунта, ботанический состав торфа, подстилающий грунт	Коэффициент фильтрации $K_f, м/сут$	Характеристика торфа				Условия строительства
				глубина $H, м$	объемный вес твердого вещества $\rho, г/см^3$	степень разложения, %	зольность, %, %	
Болотный массив «Эсса» Совхозы: «10 лет БССР»	Низинные торфяники	Тростниковый, древесно-тростниковый, подстилаемые песками	0,4—1,3	0,7—5,0	0,13—0,16	35—40	9,0—12,7	Первичное осушение
	»	Древесно-тростниковый, тростниковый, подстилаемые мелкими песками	0,8—2,3	1,6—2,0	0,10—0,18	30—50	7,4—11,4	Реконструкция открытой сети на дренаж
Им. Чапаева	Супеси, мелкозернистые пески	Частиц менее 0,1 мм 20—24%	0,10—0,53	—	—	—	—	Первичное осушение
Колхозы: «Рассвет»	Легкие суглинки	Глинистых частиц 13—15%	0,03—0,07	—	—	—	—	То же «
	Низинные торфяники	Древесно-тростниковый и тростниково-осоковый, подстилаемые суглинками	0,25—0,42	0,7—3,0	0,11—0,14	35—50	6,9—18,5	Реконструкция открытой сети на трубчатый дренаж
«Новый быт»	»	Осоковый и древесно-осоковый, подстилаемые песками и супесями	0,24—1,21	0,6—3,5	0,06—0,14	30—55	7,8—14,2	Реконструкция открытой сети на трубчатый дренаж
«Гвардия»	Тяжелые суглинки, ленточные глины	Глинистых частиц 52—82%	0,004—0,04	—	—	—	—	Ложбины заменены на закрытые собиратели
Им. Калинин на	Ленточные глины, тяжелые суглинки	Глинистых частиц 51,5—71,5%	0,0013—0,020	—	—	—	—	

трехрядную щелевую перфорацию, расположенную в нижней части. На участке колхоза «Рассвет» Пуховичского района уложены гофрированные трубы из ПВХ фирмы «Вето» (Финляндия), гладкостенные, изготовления ВЗПИ с шестирядной перфорацией и пленочные. Дренаж закладывали экскаватором ЭТН-171 (ширина траншеи $B_1=50$ см), узкотраншейным финским дренаукладчиком «Мара-55» ($B_1=17$ см) и бестраншейным дренаукладчиком ДПБН-1,8. На участке колхоза им. Калинина Поставского района дренаж устроен из гофрированных ПВХ труб «Вето» и гладкостенных ПВХ изготовления ВЗПИ. На объекте совхоза им. Чапаева Борисовского района строительство дренажа осуществлялось экскаваторами ЭТЦ-202 ($B_1=50$ см) и ЭТЦ-163 ($B_1=25$ см). Применялись гофрированные и гладкостенные трубы из ПВХ и ПНП изготовления ВЗПИ. На объекте колхоза «Гвардия» Браславского района применялись гофрированные трубы из ПВХ изготовления ВЗПИ. Применение широкотраншейных, узкотраншейных и бестраншейных машин дало возможность изучить влияние ширины траншеи на осушительное действие дренажа. На всех участках в качестве контрольного варианта укладывали гончарный дренаж, применяли различные способы защиты дрен от заиления и разные фильтрующие материалы. На участках колхозов им. Калинина и «Гвардия» в части вариантов опытов материальный дренаж дополняли кротовым. Систематически наблюдали за дренажным стоком, уровнями грунтовых вод, атмосферными осадками, влажностью почвы, промерзанием и оттаиванием, режимом луж, состоянием посевов, заилением дрен, деформацией труб и др. Опытные материалы обрабатывали и сводили в таблицы, по которым строили графические зависимости $Q=f(t)$, $Q=\varphi(B)$, $H=f(t, B, L, \dots)$ и др.

Работа дренажа (закрытых собирателей) на слабопроницаемых почвах. Осушение тяжелых глинистых почв связано со значительными трудностями. Нередко закрытые трубчатые собиратели (дренаж) с расстоянием 10 м и менее не обеспечивают надлежащего осушения; часто наблюдается вымокание озимых и позднее созревание почвы, что приводит к потере значительной части урожая. При этом на глинистых почвах весьма существенную роль играют микропонижения: в них весной длительное время застаиваются талые воды. Однако, известно много случаев [22], когда на почвах тяжелого механического со-

става и без закрытого дренажа при наличии только открытых каналов, ложбин и некоторых приемов агроомелиорации получают высокие и устойчивые урожаи. В этой связи среди научных и практических работников нередко возникают споры. Одни ратуют за повсеместное применение трубчатого дренажа, другие считают дренаж малоэффективным на глинах и тяжелых суглинках, предлагают обходиться только комплексом агроомелиоративных мероприятий.

Анализ имеющегося экспериментального материала и практика осушения земель в Белоруссии показывают, что при выборе способа мелиорации земель тяжелого механического состава необходимо прежде всего учитывать рельеф местности и окультуренность почвы. Если почвообразующими породами являются тяжелые ленточные глины с плоским равнинным рельефом, сформированные на месте бывших ледниковых озер и имеющие маломощный пахотный слой (переложные или бросовые земли), то достаточное осушение может быть достигнуто только с применением закрытых трубчатых собирателей (дренажа) и на их основе ряда дополнительных агроомелиоративных мероприятий. К последним относятся глубокое рыхление, кротование, профилирование и др. Способ искусственных ложбин и агроомелиорации на тяжелых почвах с плоским рельефом, как правило, не дают должного эффекта. Чтобы придать ложбинам необходимый уклон, их приходится значительно заглублять. В весенний период такие ложбины труднопроходимы для сельскохозяйственной техники, просыхают неравномерно, созревание зерновых происходит неодновременно. Исторически сложилось так, что старопахотные земли на почвах тяжелого механического состава расположены на участках с хорошо выраженным рельефом. Достаточный уклон поверхности и более или менее густая сеть естественных тальвегов обеспечивают здесь довольно быстрый сток внешних талых вод. Переувлажняются и поздно созревают эти почвы не каждый год. Нередко они имеют достаточно мощный окультуренный слой, обладающий большой аккумулярующей емкостью. Однако во влажные годы и на старопахотных землях имеет место значительное переувлажнение, часто приводящее к гибели посевов или малой урожайности. Осушать указанные земли можно с помощью редкой сети открытых каналов и устройства ложбин, приуроченных к естественным таль-

вегам. Для придания ложбинам необходимых уклонов не требуется значительных заглублений. Как правило, ложбины по естественным тальвегам легко проходимы для сельскохозяйственной техники. Планировка поверхности, глубокое рыхление, кротование и другие агромероприятия в дополнение к открытым каналам и ложбинам создают на указанных землях вполне благоприятные условия для получения высоких урожаев. Устройство систематического трубчатого дренажа на хорошо окультуренных землях с ярко выраженным рельефом и густой сетью естественных тальвегов не является первейшей необходимостью. Только на небольших участках, где не удастся организовать поверхностный сток, рекомендуется выборочный дренаж. Бесспорно, и на старопахотных тяжелых почвах с достаточными уклонами поверхности закрытые собиратели — наиболее прогрессивный способ осушения. Однако он в первую очередь нужен на равнинных участках с маломощным окультуренным слоем.

Таким образом, категорические мнения о преимуществах того или иного способа осушения тяжелых почв необоснованны. В этом вопросе требуется строго дифференцированный подход, основанный на учете конкретных условий каждого осушаемого массива.

На глинистых почвах весьма существенную роль играют микропонижения, в которых весной длительное время застаиваются талые воды. Тщательная планировка поверхности и устройство в дополнение к закрытым трубчатым собирателям кротового дренажа значительно улучшают условия осушения и создают благоприятные условия для развития сельскохозяйственных культур. С целью изучения эффективности кротования в колхозах им. Калинина и «Гвардия» на части осушаемой площади материальный дренаж был дополнен кротовым, устройство которого осуществлялось кротодренажными машинами Д-657 и КН-55. Кротовины длиной 40—100 м закладывали на глубине 0,5—0,7 м поперек к закрытым трубчатым собирателям. Применяли дрены диаметром 50—80 мм. Эксплуатационные характеристики машин (по Ястребову) приведены в табл. 18.

На тяжелых глинистых почвах стоимость прокладки кротового дренажа при расстоянии между кротовинами 2,5 м составила 9,3—12,3 руб/га при затратах труда 3,5—4,8 чел-час/га. В табл. 19 приведены результаты замеров дренажного стока на участке колхоза им. Кали-

Таблица 18

Показатели	Единица измерения	Машина	
		Д-657	КН-55
Производительность:			
за 1 час чистой работы	пог. м	1365	2140
сменного времени	»	961	1153
Выработка за 7-часовую смену	»	6728	8079
Затраты труда на 1 пог. км кротодренажа	чел.-час.	1,19	0,87
Сумма приведенных затрат на 1 пог. км	руб.	3,07	2,35

Таблица 19

Месяц	Сток, мм слоя воды из коллектора					Осадки, мм
	№ 1. Дренаж гончарный с кротоам, фильтр-стеклохолст	№ 3. Дренаж пластмассовый, фильтр-стеклохолст. Трубы гофрированные из ПВХ D=55 мм	№ 5. Дренаж пластмассовый с кротоам, Трубы гладкостенные из ПВХ, D=42 мм, без фильтра	№ 7. Трубы гофрированные из ПВХ, D=45 мм, стеклохолст сверху	№ 9. Трубы гладкостенные, D=42 мм, без фильтра	
1967 г. Декабрь	2,02	2,82	2,19	3,12	1,29	—
1968 г. Январь	0,12	0,73	0,24	0,73	0	2,20
Февраль	3,35	7,22	3,42	5,05	0	15,45
Март	0	0	1,08	1,25	0,86	29,00
Апрель	23,92	21,45	20,74	36,47	23,04	26,35
Май	1,02	4,54	1,84	3,26	2,49	65,55
Июнь	0,14	0,30	0,16	0,29	0,22	72,60
Июль	0,12	0,51	0,11	0,37	0,12	45,80
Август	0,12	3,73	1,76	4,66	0,01	51,95
Сентябрь	3,64	5,78	4,06	5,96	3,14	61,20
Октябрь	21,50	24,35	17,85	23,17	6,6	45,00
Ноябрь	10,30	12,04	9,12	11,15	5,21	23,15
Сумма	66,3	83,5	62,6	95,5	43,0	438,2

Примечание. Кротовый дренаж заложен в июле—августе 1968 г.

нина за 1967—1968 гг. Суммарный дренажный сток по отдельным периодам года приведен в табл. 20, интегральные кривые стока изображены на рис. 23. Как пластмассовый, так и гончарный дренаж работают удовлетворительно и при тщательно спланированной поверхности

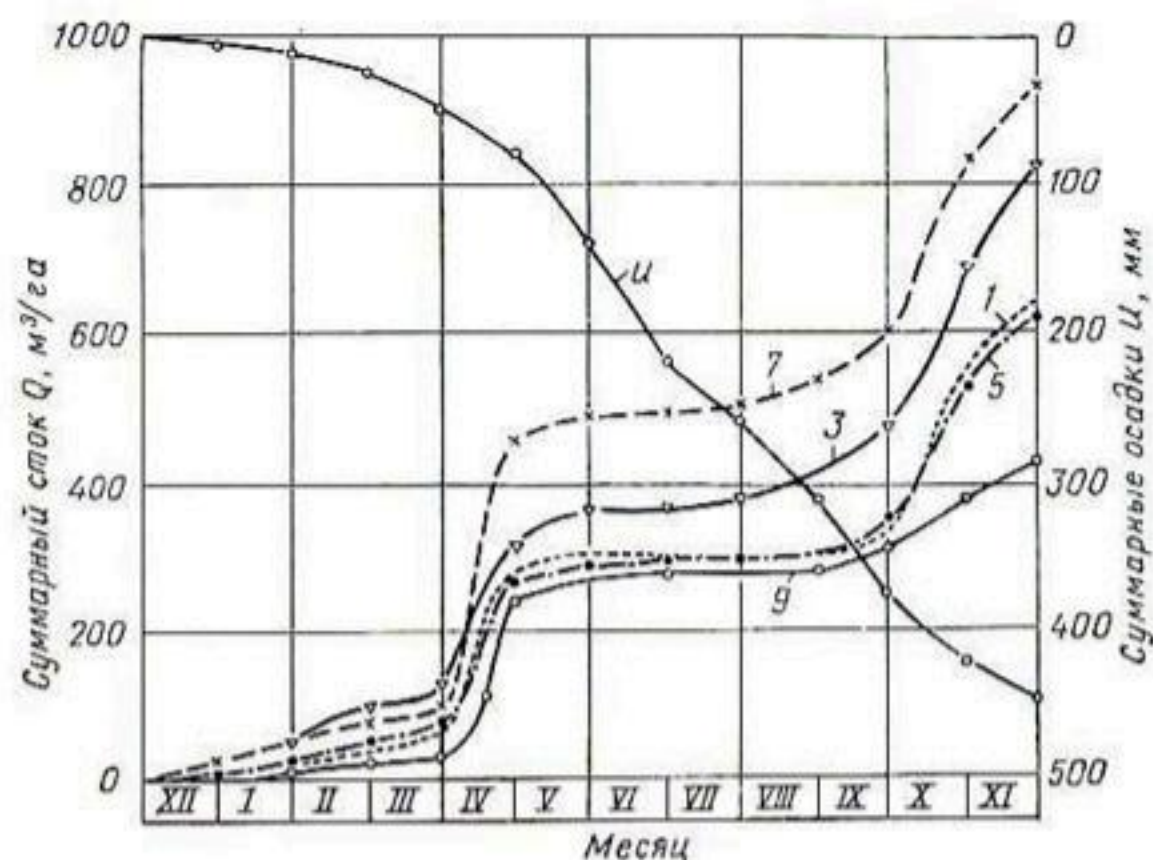


Рис. 23. Интегральные кривые дренажного стока коллекторов № 1, 3, 5, 7 и 9 на объекте колхоза им. Калинина.

Т а б л и ц а 20

Период	Суммарный дренажный сток, м³/га по коллекторам				
	№ 1	№ 3	№ 5	№ 7	№ 9
Зима (XII—II)	54,9	107,8	58,5	89,0	12,9
Весна (III—V)	249,7	259,9	236,6	408,8	263,9
Лето (VI—VIII)	3,8	45,4	20,8	53,2	3,5
Осень (IX—XI)	354,4	421,7	310,3	403,8	149,5
Сумма	662,8	834,7	625,7	954,8	429,8

участка (планировка делалась в 3 следа) обеспечиваются вполне благоприятные условия для развития растений. Суммарный сток за год колебался от 43 до 95,5 мм, что составляет 10—20% от суммы выпавших осадков. До 1965 г. это были бросовые земли с очень маломощным окультуренным слоем (5—8 см). Построенные в 1965 г. ложбины через 50—80 м не обеспечили достаточного осушения и поля практически не использовались. Только после закладки дренажа были созданы нормальные условия осушения. Урожай пшеницы, например, в 1969 г. составил 26,8 ц/га.

Дренаж практически может работать круглогодично. Так, в феврале 1968 г. во время длительной оттепели

сток за 20 суток составил 5—7,2 мм, а максимальный модуль стока достиг 0,24 л/сек.га. Несмотря на замерзший верхний слой почвы вода проникла в дрены по трещинам и порам в траншейной засыпке. Наиболее интенсивная работа дренажа наблюдалась весной (март—апрель) и осенью (октябрь). В конце марта 1968 г. при интенсивном снеготаянии модули стока превысили 1,4 л/сек.га. Весной 1969 г. они достигли 2,7, а в 1970 г.—1,85 л/сек.га. В осенний период модули стока обычно не превышают 0,35—0,5 л/сек.га. При запасе воды в снежном покрове к началу снеготаяния в 1968 г. 73 мм сток из дрен в апреле был 20,7—36,7 мм, что составило 28—50% от количества осадков. В октябре при осадках 45 мм сток составил 6,6—24,3 мм, или 15—54%. С начала мая и по конец сентября 1968 г. он не превышал 10 мм, хотя количество осадков за этот период составляло 297 мм. В теплое время года на тяжелых глинах почти все осадки, за исключением незначительного поверхностного стока, задерживаются в верхнем слое почвы и расходуются на транспирацию и испарение.

Как видим из рис. 23, наиболее интенсивно работают гофрированные трубы коллекторов № 3 и 7, что согласуется с результатами лабораторных опытов и теоретических расчетов. Суммарный сток за 1968 г. на участках с гофрированными трубами составил 83,5 и 95,5 мм. Дренаж, выполненный из гончарных и гладкостенных полиэтиленовых труб, отвел за этот период примерно одинаковое количество воды: коллектор № 1 — 66,3 и коллектор № 5—62,6 мм. Гончарный дренаж имеет фильтр из стеклохолста, а полиэтиленовый уложен без него. На участке колхоза «Гвардия», по данным В. В. Ястребова, пластмассовый дренаж из гофрированных ПВП труб кон-

Т а б л и ц а 21

Период	Слой стока, мм с дренажа	
	гончарного	пластмассового
Осенне-зимний 1970 г.	31,46	38,72
Весенний 1971 г.	60,28	67,32
Суммарный	91,74	106,04
Процентное соотношение	100	112,71

струкции БелНИИМиВХ дал в среднем на 12,7% больший сток, чем гончарный (табл. 21).

Фильтр из стеклохолста вокруг труб существенно увеличивает поступление воды в дрены. Так, в 1968 г. сток из системы № 9 с гладкостенными полиэтиленовыми трубами без фильтра, составил 43, а из системы № 11 с такими же трубами и фильтром — 65 мм, т. е. разница в стоке была 52%. Раскопками, проведенными в колхозе им. Калинина спустя 5 лет после строительства дренажа, установлено, что в глинистых грунтах кольматаж стеклохолста не происходит; дрены с фильтром и без него не заиливаются. Объясняется это несuffузионностью глинистых грунтов и очень высокой их фильтрационной прочностью. Учитывая существенное влияние фильтров на увеличение дренажного стока, применять их в глинистых грунтах необходимо.

Дополнение материального дренажа кротовым существенно интенсифицирует его работу в тяжелых глинистых грунтах. Так, сток из систем № 1 и 5 с комбинированным дренажем осенью 1968 г. на участке колхоза им. Калинина был почти в 2 раза больше, чем из систе-

Таблица 22

Номер коллектора	Характеристика дренажа	Слой стока, мм за период							
		осенне-зимний 1969 г.	весенний 1970 г.	суммарный	процентное соотношение	осенне-зимний 1970 г.	весенний 1971 г.	суммарный	процентное соотношение
30	Пластмассовый, $E=10$ м	—	—	—	—	32,5	69,2	101,7	100,0
28	Тот же	—	—	—	—	34,0	69,2	103,2	101,5
22	Комбинированный (пластмассовый с кротовым), $E=10$ м; $l=2,5$ м	—	—	—	—	49,4	91,2	140,4	138,0
95	Гончарный, $E=10$ м	32,9	33,6	66,5	100,0	18,8	28,5	47,3	100,0
80	Тот же	35,3	31,4	66,7	100,2	21,4	26,8	48,2	102,0
93	Комбинированный (гончарный с кротовым), $E=10$; $l=2,5$ м	63,8	50,0	113,8	171,0	34,0	46,8	80,8	170,5

Примечание. E — расстояние между материальными дренажами; l — расстояние между кротовинами.

мы № 9. До прокладки кротового дренажа (декабрь—август) различия в стоке из этих систем практически не было. Комбинированный дренаж отводит за год на 70—220 м³/га воды больше, чем обычный. По опытам В. В. Ястребова, в колхозе «Гвардия» комбинированный дренаж (сочетание пластмассового или гончарного с кротовым) повысил сток на 38—70% по сравнению с обычным (табл. 22).

Влияние кротового дренажа на ускорение стока хорошо видно из графика рис. 24—25. После выпадения осадков нарастание и спад стока комбинированного дренажа происходит более интенсивно, чем обычного. Пахотный горизонт почвы быстрее освобождается от излишней воды. На состоянии посевов озимых культур и времени созревания тяжелых глинистых почв к началу весенних полевых работ существенно сказывается качественная планировка поверхности. На хорошо спланированных участках процент гибели озимых от вымокания сокращается в 3—5 раз, а весенний сев можно проводить на 5—10 дней раньше, чем на участках с сильно изреженным микрорельефом.

Резюмируя результаты приведенных выше полевых исследований, можно констатировать:

1. На тяжелых глинистых почвах дренаж (закрытые

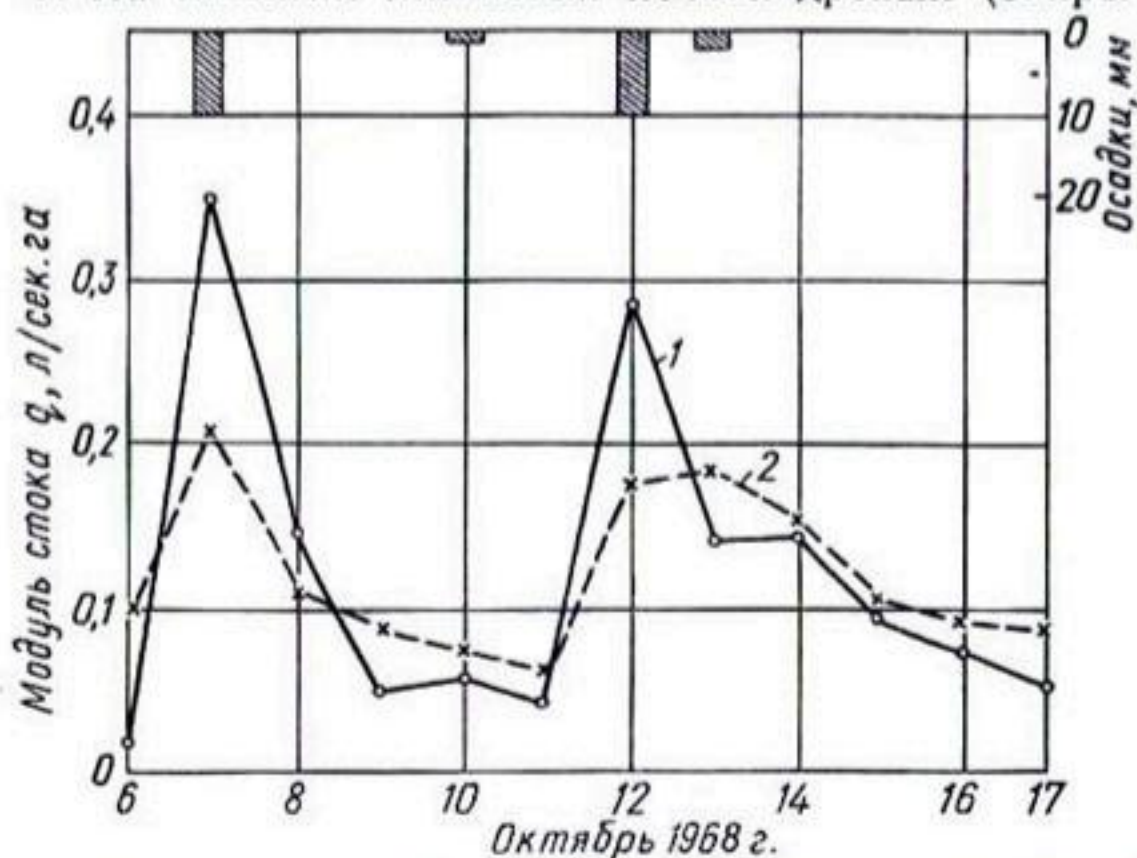


Рис. 24. Сток обычного (2) и комбинированного (1) дренажа (колхоз им. Калинина).

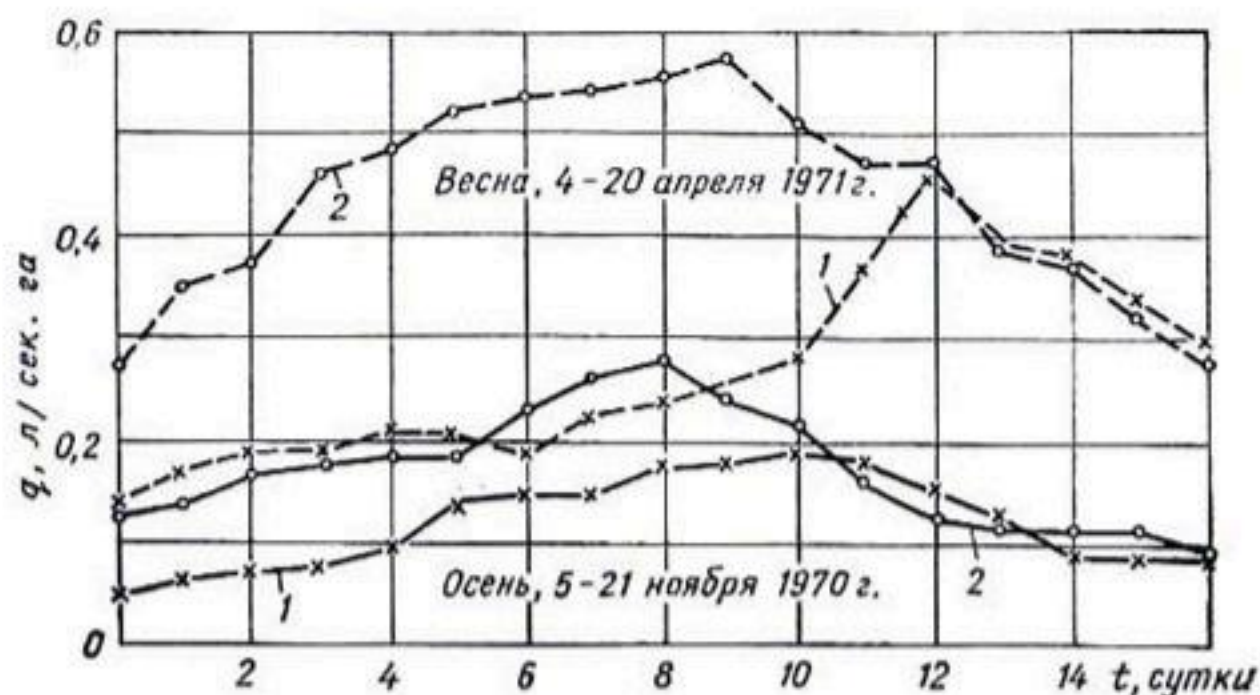


Рис. 25. Модули дренажного стока (колхоз «Гвардия»):

1 — дренаж пластмассовый, $B=10$ м; 2 — дренаж комбинированный, $B=10$ м, $l=2,5$ м.

собиратели) из гофрированных пластмассовых труб работает более интенсивно, чем гончарный.

2. Несмотря на отсутствие опасности механического заиливания, дренаж на тяжелых глинистых почвах необходимо укладывать с защитным покрытием—фильтром. Для этой цели вполне приемлем стеклохолст.

3. Обязательным инженерным мероприятием при осушении глинистых почв является тщательная планировка поверхности.

4. На почвах тяжелого механического состава необходимо шире проектировать комбинированный дренаж — сочетание пластмассового (из гофрированных труб) или гончарного с кротовым. Диаметр дренажа не должен превышать 50 мм, в противном случае резко уменьшится устойчивость кротовин. Дополнение материального дренажа кротовым существенно улучшает условия осушения и требует незначительных затрат. При этом, по данным зарубежных исследователей [71, 83], расстояние между материальными дренажами можно существенно увеличить, что сократит расход труб и уменьшит общие затраты на 40—60%. Однако следует иметь в виду, что кротовый дренаж требует возобновления через 2—3 года.

Работа дренажа на торфяниках. При атмосферном питании болот дренажные системы работают очень непродолжительное время в период паводков и затяжных осенних дождей. Интенсивный дренажный сток наблюда-

ется в течение 10—20 дней и редко более длительный период. В остальное время года, как правило, уровень грунтовых вод залегает ниже дрен. Обусловлено это большой аккумулярующей способностью торфа, испарением, транспирацией и, отчасти, действием открытых проводящих каналов. Систематические наблюдения на объектах колхоза «Рассвет» и массива «Эсса» показали, что пластмассовый дренаж из труб промышленного изготовления (БЗПИ, ВЗПИ) надежно функционирует и своевременно отводит избыточные грунтовые воды к началу полевых работ (рис. 26). Однако в отдельные годы озимые вымокают в местах микропонижений, особенно на объектах, где после удаления кустарника поверхность тщательно не спланирована. На хорошо спланированных участках длительного застоя поверхностных вод не бывает и вымочек посевов не наблюдается. На рис. 27 представлен график динамики уровней грунтовых вод за 1967 г. на объекте «Эсса»; участки осушены дренажем и открытыми каналами. Пластмассовый дренаж устроен из гладкостенных ПВХ труб диаметром 42 мм ($m=3$). Длина дрен 200 м, глубина их 1,2—1,4 м, глубина каналов 1,5—1,7 м, мощность торфа 2 м. Как видно из графиков, пластмассовый дренаж обеспечил более интенсивное понижение грунтовых вод в весенний период и более глубокое осушение летом.

По имеющимся натурным наблюдениям, хотя и есть некоторые различия в интенсивности действия пластмассового и гончарного дренажа, существенного преиму-

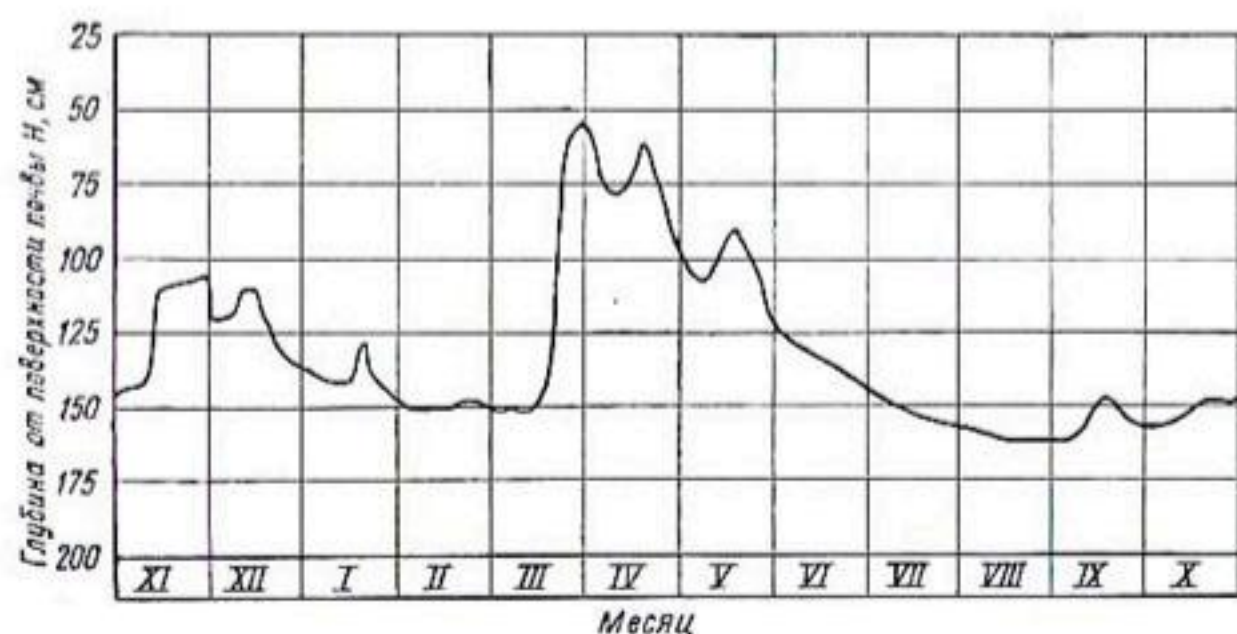


Рис. 26. Уровни грунтовых вод на объекте колхоза «Рассвет» (1967—1968 г., коллектор № 89, $B=25$ м).

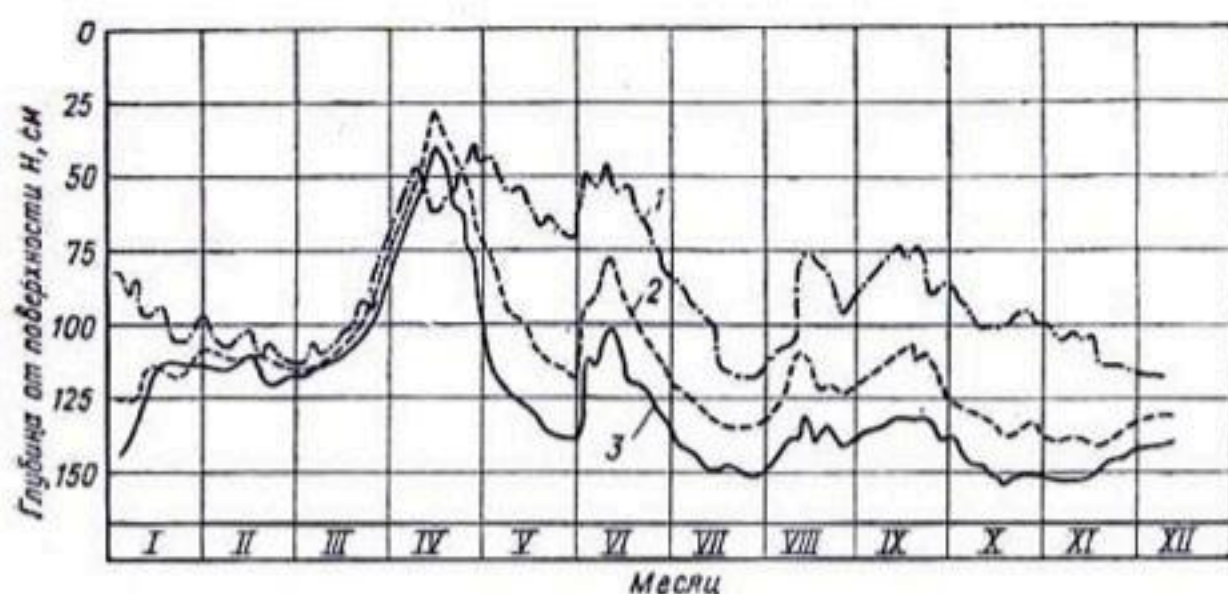


Рис. 27. Уровни грунтовых вод на массиве «Эсса» (1968 г.):

1 — участок с открытой сетью каналов при $B=200$ м; 2 — с гончарным дренажем, $B=30$ м; 3 — с пластмассовым дренажем, $B=30$ м.

щества одного из них на торфяниках пока не установлено. Можно констатировать только, что пластмассовый дренаж из труб с гофрированными стенками работает несколько интенсивнее гончарного в весенний период; при малых напорах разницы практически нет. На интенсивность работы дренажа в торфяниках существенно влияют фильтрационные защитные обкладки. Интенсивность работы дренажа можно характеризовать скоростью понижения уровня грунтовых вод на спаде весеннего паводка. В табл. 23 представлены результаты замеров на объекте колхоза «Рассвет», из которой видно, что фильтр из стеклохолста увеличивает скорость падения УГВ в 1,12—2,5 раза.

Таблица 23

Характеристика дренажных труб	Скорость падения УГВ, в см/сутки на дренаже	
	с фильтром из стеклохолста	без фильтра
Гладкостенные ПВХ, $D=42$; $l=30$; $\tau=1$ мм; $m=6$	12,50	5,0
Гофрированные ПВХ (Вето), $D=45$; $\tau=1,0$; $l=1,3$ мм; $m=3$	4,65	2,0
Гончарные, $D_n=70$; $\tau_1=1-3$ мм	3,15	2,8

Следовательно, на глубоких торфяниках, где механического заиливания дрена можно не опасаться, фильтры не-обходимы. Вполне приемлемым материалом является стеклохолст. Применять стеклоткань не следует, ибо ее водопроницаемость довольно низкая и эффект может оказаться отрицательным. Так, на объекте колхоза «Рассвет» дрена из труб «Вето» без фильтра обеспечили скорость понижения УГВ 3,5, а с фильтром из стеклоткани Э-0,08 только 2,25 см/сутки.

Вопросы осушительного действия пластмассового дренажа, уложенного бестраншейным способом, пока изучены недостаточно. Имеющиеся высказывания часто противоположны. Одни авторы утверждают, что бестраншейный дренаж обеспечивает интенсивное осушение и даже работает лучше гончарного, уложенного в траншеи [6, 80]. Другие [54] приводят экспериментальные данные, доказывающие его меньшую эффективность. В табл. 24 приведены максимальные модули стока траншейного и бестраншейного дренажа на объекте колхоза «Рассвет» за 1968 г.

Т а б л и ц а 24

Дренажные трубы	Диаметр D , мм	Дреноукладчик	Ширина траншеи B_1 , см	Максимальные модули дренажного стока q_n , л/сек. га
Гончарные	70	ЭТН-171	50	0,63
Гладкостенные ПВХ	42	4	50	0,64
Гофрированные «Вето»	45	»	50	0,73
Те же	55	»	50	0,94
Гладкостенные ПВХ	42	Мара-55	17	0,94
Гофрированные «Вето»	45	4	17	0,80
Те же	55	»	17	0,94
Гладкостенные ПВХ	42	ДПН-1,8	0	0,34
Гофрированные «Вето»	45	»	0	0,44
Пленочные «нахлестка»	50	»	0	0,34

Как видим из таблицы, максимальные модули стока бестраншейного дренажа в 1,9—2,1 раза меньше уложенного траншейным способом. Объясняется это, во-первых, отсутствием траншеи с ее рыхлым грунтом и, во-вторых, уплотнением торфа вокруг дрена после прохождения ножа дренаукладчика. По наблюдениям С. В. Шилейка [54],

на польдерах Литвы УГВ площадей, осушаемых бестраншейным дренажем, на 30—40 см выше, чем осушаемых траншейным. Однако нельзя окончательно утверждать, что во всех случаях бестраншейный дренаж работает менее интенсивно. Если щель, образуемую ножом дренаукладчика, засыпать хорошо фильтрующим материалом, а вокруг трубы грунт дополнительно разрыхлить, то можно достичь вполне эффективной работы бестраншейного дренажа. На плотных низинных торфяниках ширина траншеи на интенсивность дренажного стока влияет незначительно. Разницы в стоке при уменьшении ширины траншеи с 50 до 17 см не наблюдается. Незначительное увеличение $q_{\max}$ с уменьшением B_1 можно объяснить только более рыхлым (в первые годы) сложением засыпки в узкой траншее.

Резюмируя приведенные выше полевые исследования можно констатировать, что осушительное действие пластмассового дренажа в большинстве случаев выше гончарного.

§ 10. Некоторые вопросы проектирования дренажной сети

Проектируя дренажные системы с трубами из полимерных материалов, необходимо учитывать в первую очередь конструктивные их особенности и максимально использовать накопленный опыт. При расчете расстояний между дренами следует пользоваться методом, изложенным выше. Модули дренажного стока и глубину заложения дрен принимать по существующим нормативам для гончарного дренажа [9].

Регулирующую сеть из пластмассовых труб можно проектировать впадающей в пластмассовые или гончарные коллекторы. Расположение систематической дренажной сети в плане зависит от организации сельскохозяйственной территории, допускаемых скоростей движения воды в дренах и коллекторах, равномерности осушения, гидрологических условий и других обстоятельств. Существенных отличий расположения в плане пластмассового дренажа от гончарного нет, поэтому можно руководствоваться существующими положениями. Предельную длину коллекторов из пластмассовых труб определяют исходя из пропускной способности их по заданным диаметрам, модулям стока, уклонам, площади осушения. Не реко-

мендуется принимать ее очень большой, так как с увеличением протяженности коллекторов потребуются трубы больших диаметров, что резко увеличит стоимость осушения. Длинные коллекторы более экономичны из гончарных трубок. Впуск дрен в коллекторы желателен с двух сторон. По возможности надо принимать большую длину собирателей и меньшую — коллекторов. Такое решение более экономично. Предельная длина дрен-осушителей не должна превышать 200—250 м. При большей длине дрен необходимо делать смену сечений водоводов, что технически и экономически не целесообразно. На объектах, где содержание окиси железа в грунтовой воде превышает 10 мг/л, следует длину дрен и коллекторов назначать меньшую; выбор схем расположения сети сопровождать экономическими расчетами; обязательно учитывать условия эксплуатации и ремонта.

Весьма целесообразен комбинированный дренаж. В зарубежной мелиоративной практике [76, 83] с целью уменьшения расхода труб, равномерности осушения и улучшения осушительного эффекта на болотах со степенью разложения торфа более 45% сочетают разреженный пластмассовый дренаж с кротовым или щелевым. Расстояние между временными дренами (кротовинами) в торфе принимают 5—10 м. В почвах тяжелого механического состава сочетание пластмассовых дрен с кротовыми значительно улучшает условия осушения. В случае комбинированного дренажа расстояния между пластмассовыми дренами можно увеличить на 30—50%. Кротовины на тяжелых минеральных почвах следует прокладывать на глубине 0,5—1,0 м, через 2—6 м, длиной до 50 м с уклоном не менее 0,004. Кротовый дренаж лучше сохраняется в районах с повышенным (700 мм и более в год) количеством атмосферных осадков. При строительстве комбинированного дренажа кротовины вводят в проницаемую засыпку траншей над пластмассовыми дренами. В качестве фильтрующей засыпки на тяжелых почвах можно применять крупнозернистый песок, гравий, шлак, гумусированный слой почвы и др.; для ускорения поверхностного стока в понижениях местности следует устраивать ложбины, борозды, поглощающие колодцы. При расчетах расстояний между дренами следует учитывать диаметры труб, форму, размер и расположение перфорации, наличие или отсутствие защитных фильтров. Порядок расчета поясним на следующих примерах.

Пример 1. Дренаж проектируется из полиэтиленовых гладкостенных труб $D=42$ мм с продольно-щелевой перфорацией в шесть рядов ($m=6$). Размер щелей: $\tau=1,0$; $l=25$; $S=75$ мм. Дренаж без фильтра закладывают на глубину 1,2 м на плотном торфянике, у которого $k_{\phi}=1,0$ м/сутки, расчетный слой стока $q=0,01$ м. Глубина водоупора $T=3,0$ м. Норма осушения для весеннего периода $a=0,6$ м. Расчетный напор $H=0,8$ м. Поскольку водоупор залегает близко, применим дополненную формулу С. Ф. Аверьянова (I.62). Вначале по (I.57) найдем

$$B_0 = 2 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{1}{0,01} \left(1 + \frac{2,3}{0,8} \right)} = 46,64 \text{ м.}$$

Далее по (I.45) определим коэффициент несовершенства водоприемной поверхности дрены:

$$C_m = \frac{2 \cdot 75}{6 \cdot 25} \ln \frac{1}{\sin \frac{6 \cdot 25}{2 \cdot 75} 1^\circ 22'} = 3,74;$$

$$\theta = \arcsin \frac{1}{42} = 1^\circ 22'.$$

Поскольку дренаж укладывается без фильтра, то по табл. 9 коэффициент обкладки $\eta=1,0$, а по (I.61)

$$\Gamma_t = \frac{4}{3,14} 3,74 = 4,76.$$

Коэффициент B_2 найдем по (I.58):

$$B_2 = \frac{4}{3,14} 2,3 \lg \frac{1}{\sin \frac{3,14}{2} \cdot \frac{0,042}{3}} = 4,86.$$

Расстояние между дренами по (I.62) будет

$$B = \sqrt{46,64^2 + [3(4,86 + 1,0 \cdot 4,76)]^2} - 3(4,86 + 1,0 \cdot 4,76) = 26,0 \text{ м.}$$

В этих же условиях для дрен с пористыми стенками $B=34,4$ м.

Пример 2. В отличие от первого примера гофрированные трубы $D=50$ мм с шестью рядами круглой перфорации $d_0=1,5$ мм; $m=6$; $S=1,0$ см укладывают с круговой оберткой стеклохолстом ВВ-Г.

По уравнению (1.8)

$$C_{отв} = \frac{49,4 (1,012 \cdot 0,15^{-1,82} + 1)}{600(0,0066 \cdot 0,15^{4,5} + 1,33)} = 2,2,$$

$$N = \frac{100 \cdot 6}{1} = 600.$$

По (1.61)

$$\Gamma_i = \frac{4}{3,14} \cdot 2,2 = 2,81.$$

По (1.58)

$$B_2 = \frac{4}{3,14} 2,3 \lg \frac{1}{\sin \frac{3,14}{2} \cdot \frac{0,05}{3}} = 4,64.$$

По табл. 9 $\eta=0,07$.

Расстояние между дренами найдем по (1.62):

$$B = \sqrt{46,64^2 + [3(4,64 + 0,07 \cdot 2,81)]^2} - 3(4,64 + 0,07 \cdot 2,81) = 34,4 \text{ м.}$$

Для пористой дрены при $D=50$ мм, $B=34,7$ м.

Пример 3. В условиях первого примера укладываются гончарные трубы $D_{\text{нн}}=50$ ($D_{\text{н}}=70$ мм) с зазорами в стыках $\tau_1=1,0$ мм. Длина трубок $S_1=33$ см. Фильтр — стеклохолст ВВ-Г.

По уравнению (1.11)

$$C_r = \frac{2,3}{3,14} \lg \frac{4 \cdot 33}{7} 2,3 \lg \frac{1}{\sin \frac{3,14}{2} \cdot \frac{0,1}{33}} = 2,85.$$

По (1.61)

$$\Gamma_i = \frac{4}{3,14} \cdot 2,85 = 3,63,$$

по (1.58)

$$B_2 = \frac{4}{3,14} \cdot 2,3 \lg \frac{1}{\sin \frac{3,14}{2} \cdot \frac{0,07}{3}} = 4,2.$$

По табл. 9 $\eta = 0,35$;

$$B = \sqrt{46,64^2 + [3(4,2 + 0,35 \cdot 3,63)]^2} - 3(4,2 + 0,35 \cdot 3,63) = 33,0 \text{ м.}$$

Для пористой дрены при $D_n = 70 \text{ мм}$ $B = 35,6 \text{ м}$.

Приведенные примеры убедительно показывают, какое большое влияние оказывают конструктивные параметры дренажных труб и защитные фильтры на расчетные расстояния между дренами.

Глава II. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. Основные положения

Применение труб из полимерных материалов неразрывно связано с проведением гидравлических расчетов. При этом определению подлежат:

1) диаметры труб, обеспечивающих пропуск заданного расхода (уклон, площадь водосбора и модуль дренажного стока известны);

2) расходы, проходящие по трубам заданного диаметра (известны уклон и степень наполнения);

3) скорость движения воды в трубах;

4) геометрический уклон дренажных линий.

Все указанные величины находят из расчетных формул, учитывающих потери напора на трение по длине, которые для круглых труб определяются формулой Дарси—Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (\text{II.1})$$

где λ — коэффициент сопротивления трения;
 l — длина участка трубы;
 D — внутренний ее диаметр;
 g — ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$;
 v — средняя скорость течения жидкости

$$v = \frac{Q}{\omega};$$

Q — расход жидкости;
 ω — площадь живого сечения; при полном заполнении для круглых труб

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Получение расчетных зависимостей для вычисления h_p , Q , D связано с установлением величины коэффициента Дарси λ , который и определяет гидравлическую характеристику трубы. Значение λ зависит от режима движения жидкости. Последний в свою очередь является функцией числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{vD}{\nu}, \quad (II.2)$$

где ν — кинематический коэффициент вязкости.

В гидравлике трубопроводов выделяют ламинарный, переходный и турбулентный режим движения жидкости.

При ламинарном режиме $Re < 2320$, потери удельной энергии (напора) по длине не зависят от шероховатости и пропорциональны первой степени скорости. Величина λ определяется формулой

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (II.3)$$

В случае переходного режима $2320 < Re < 4000$ и потери напора по длине не зависят от шероховатости стенок труб.

Практически дренажные трубопроводы работают в зоне турбулентного режима, в которой потери удельной энергии по длине пропорциональны скорости v в степени m , изменяющейся от 1,75 до 2,0 [4]. Эта зона разделя-

ется на: 1) область гладкого сопротивления, в которой h_f и λ являются функцией числа Рейнольдса и не зависят от шероховатости; потери напора здесь пропорциональны скорости v в степени 1,75; 2) область докватратичного сопротивления, в которой h_f и λ являются функцией числа Рейнольдса и шероховатости

$$\lambda = \varphi(\text{Re}, \bar{\Delta}),$$

где $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{D}$ — относительная шероховатость;

Δ — высота выступов шероховатости.

Потери напора по длине в этой области пропорциональны скорости v в степени $1,75 \leq m < 2,0$; 3) область квадратичного сопротивления, в которой потери напора пропорциональны квадрату скорости и не зависят от Re ; коэффициент λ является функцией только относительной шероховатости:

$$\lambda = f(\bar{\Delta}).$$

Турбулентный режим движения жидкости в пластмассовых трубопроводах зависит от их конструктивных особенностей, степени обработки внутренней поверхности и охватывает все три указанные выше области.

Исследованиям закономерностей движения жидкости в трубах, являющихся одним из основных вопросов инженерной гидравлики, посвящено большое количество работ. Однако и по настоящее время вопрос о сопротивлении движению жидкости в турбулентных потоках продолжает оставаться актуальным. Если для труб из традиционных материалов (металл, керамика, бетон и др.) исследованиями накоплено много экспериментальных данных, частично уже устаревших или не обладающих достаточной точностью, то изучение гидравлических сопротивлений в трубах из пластмасс практически только начинается. Это относится прежде всего к дренажным перфорированным трубам и особенно к трубам с гофрированными стенками. Трудности, связанные с решением вопроса о гидравлических сопротивлениях пластмассовых дренажных труб, обусловлены, с одной стороны, многообразием применяемых материалов (ПВП, ПНП, ПВХ и др.), с другой — наличием большого количества конструкций. Следует также иметь в виду, что гидравличе-

ские сопротивления пластмассовых труб одной конструкции, изготовленных из одного и того же материала, но на разном оборудовании (разных заводах), неодинаковы. Поэтому в специальной литературе часто можно встретить весьма разноречивые данные по гидравлическим сопротивлениям в пластмассовых трубах.

§ 2. Формулы для гидравлических расчетов труб

С 1775 г. для гидравлических расчетов напорных трубопроводов и открытых русловых потоков применяют формулу А. де Шези

$$v = C \sqrt{Ri}, \quad (\text{II.4})$$

где C — коэффициент Шези, зависящий от состояния внутренней поверхности и диаметра труб;

R — гидравлический радиус; для круглых труб $R = \frac{D}{4}$;

i — гидравлический уклон (потери напора на единицу длины).

Соотношение коэффициента C в уравнении (II.4) и коэффициента Дарси λ в уравнении (II.1) определяется зависимостью

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{8g}{C^2}. \quad (\text{II.5})$$

В мелиоративной практике коэффициент Шези обычно находят по формулам Н. Н. Павловского [39], Маннинга, Куттера и др. Так, для гончарных труб $D \geq 10$ см и хорошего качества труб $D \leq 10$ см при тщательной укладке применяют формулу Маннинга

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (\text{II.6})$$

где n — коэффициент шероховатости, определяемый по шкале Маннинга, и формулу Н. Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^x, \quad (\text{II.7})$$

$$x = 2,5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,1).$$

В практических расчетах значения x вычисляют из следующих зависимостей:

$$x = 1,3 \sqrt{n} \quad \text{при } R > 1,0 \text{ м;}$$

$$x = 1,5 \sqrt{n} \quad \text{при } R < 1,0 \text{ м.}$$

Технические условия и нормы проектирования Главводхоза МСХ СССР наряду с формулой Н. Н. Павловского (II.7) рекомендуют формулу И. И. Агроскина [4]

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R. \quad (\text{II.8})$$

В гидравлических расчетах гончарного дренажа по формулам (II.6), (II.7) и (II.8) принимают $n=0,012$. Гончарные дренажи внутреннего диаметра $D < 10$ см при невысоком качестве труб и плохой укладке рассчитывают по (II.7), определяя коэффициент Шези по формуле Х. З. Базена (новой)

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = \frac{87}{1 + \frac{2\gamma}{\sqrt{D}}}, \quad (\text{II.9})$$

где γ — коэффициент шероховатости по шкале Базена, обычно принимаемый равным 0,27.

В мелиоративной практике западных стран и на американском континенте распространена формула Д. Л. Ярнелла и С. М. Вудворда

$$v = KR^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} = 92,87 R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}. \quad (\text{II.10})$$

Академик Н. Н. Павловский [39] отмечал, что формула (II.10), в которой $K=92,87$, получена для труб $D \geq 10$ см и для меньших диаметров дает завышенные значения скорости. Нормами ДФН 1185 для гидравлических расчетов гончарного дренажа рекомендована формула (II.10) с коэффициентами $K=65$ и $K=75$. Формулы (II.4) — (II.10) справедливы для области квадратичного сопротивления и долгое время были основными. Однако, как показала практика и многочисленные исследования [39, 57], во многих случаях они дают значительные погрешности. Многие авторы [7, 88] подчеркивают, что в гончарных трубках не соблюдается закон квадратичного сопротивления.

Вообще в трубчатых дренажных системах на осушаемых землях закон квадратичного сопротивления является скорее исключением, чем правилом. По мнению Н. Н. Павловского, наиболее приемлемы формулы полуэмпирического типа, дающие коэффициент Шези C в зависимости от числа Рейнольдса. М. Ф. Дидковский и К. И. Поляков впервые предложили такую формулу для гончарных труб диаметром 55 мм:

$$\lambda = \frac{\text{Re}^{0,48}}{7250}.$$

В западноевропейских странах широкое распространение получила формула Кёллебрука—Уайта

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta}{3,7 D} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right). \quad (\text{II.11})$$

Получена она в результате механического объединения формул Прандтля—Никурадзе [36] для шероховатых и гладких труб и применима как в квадратичной, так и переходной области сопротивления.

Б. И. Блажис [7] на основе лабораторных исследований тщательно сложенных дренажных керамических трубок диаметром 50—200 мм предложил расчетную зависимость

$$v = -3,63 \lg \left[\left(\frac{2,75 \cdot 10^{-5}}{D} \right)^2 + \left(\frac{9,53 \cdot 10^{-6}}{vD} \right)^{1,8} \right] \sqrt{Di}, \quad (\text{II.12})$$

которую получил в результате механического объединения формулы для квадратичной области с формулой П. К. Конакова для гладких труб.

Формул для гидравлического расчета гладких труб предложено много [5, 20, 36, 50, 57] и точность их приблизительно одинакова. Чаще всего применяют формулу Кёллебрука (П. К. Конакова)

$$\lambda_{\text{гл}} = \frac{1}{(1,8 \lg \text{Re} - 1,52)^2}. \quad (\text{II.13})$$

Основной фактор, определяющий гидравлические свойства труб — это шероховатость внутренней поверхности. Размер, форма и расположение элементов шероховатос-

ти существенно влияют на величину коэффициента гидравлического трения по длине.

Исследованиям гидравлических сопротивлений в трубах из полимерных материалов в последнее десятилетие уделялось некоторое внимание как в СССР, так и за рубежом. В СССР изучались в основном напорные гладкостенные полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы, применяемые в водоснабжении и канализации. Известны работы Ф. А. Шевелева [55, 56], М. М. Сапожникова [47], Ю. С. Оффенгендена [38] и др. Что касается перфорированных дренажных труб, то ими занимались мало. Как установлено опытами, трубы из полимерных материалов работают в переходной области и на них не могут быть распространены законы квадратичного сопротивления.

Недостаточность исследований гидравлических сопротивлений в пластмассовых дренажных трубах у нас обусловлена, с одной стороны, отсутствием до недавнего времени массового производства, с другой — относительно малым применением их в мелиоративной практике. Что касается зарубежных стран, то первые опыты были проведены в Нидерландах [86] и ФРГ [89] в 1959—1961 гг. И. Весселинг и Ф. Гомма [87] провели испытания дренажных гладкостенных труб из ПВХ $D=40$ мм с продольно-щелевой перфорацией хорошего и плохого качества, выпускаемых в Нидерландах фирмой «Вавин», а также гофрированных труб $D=40$ и 50 мм со спиральными (винтовыми) гофрами высотой $h=3$ и шагом $S=6$ мм. Установлено, что неперфорированные гладкостенные трубы являются гидравлически гладкими, а гофрированные — шероховатыми. Для гладкостенных труб $D=40$ мм коэффициент λ определяется зависимостью

$$\lambda = a \operatorname{Re}^{-0.25}, \quad (\text{II.14})$$

Для неперфорированных труб $a=0,3164$, т. е. подтверждена формула Блазиуса. В трубах с перфорацией хорошего качества (без больших заусениц внутри) $a=0,35$, плохо перфорированных — $a=0,41$. Скорость воды в гладкостенных трубах $D=40$ мм определяется формулой

$$v = CR^{0.714}i^{0.572}, \quad (\text{II.15})$$

где C — скоростной коэффициент, равный 198,2; 186,7 и 168,6 соответственно для перечисленных выше вариантов труб из ПВХ.

В гладкостенных трубах продольно-щелевая перфорация хорошего качества уменьшает пропускную способность на 5,8% по сравнению с неперфорированными. При плохом качестве перфорации уменьшение достигает 15%.

Несколько иные результаты получены А. Бекеном и Г. Хейндриком [61]. Для гладкостенных перфорированных труб $D=40$ мм ими получена формула

$$\lambda = 0,734 \operatorname{Re}^{-0,309}. \quad (\text{II.16})$$

Следовательно, щелевая перфорация уменьшила пропускную способность труб на 30%, что вызвано очень плохим качеством изготовления щелей. Для труб с гофрированными стенками Весселинг и Гомма рекомендуют формулу Маннинга—Штриклера

$$v = 71 R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}. \quad (\text{II.17})$$

Н. Бринк и С. Нильсон [63] изучили гидравлические сопротивления гладкостенных труб из ПВХ диаметром 38, 48, 72 и 86,6 мм, выпускаемых шведской фирмой «Лундсберг фабрикс АБ». Опыты они проводили с целыми трубами, а также имеющими продольно-щелевую перфорацию размером $0,5 \times 25$ мм. Ими же исследованы гофрированные трубы из ПВХ, изготовленные фирмой «Френкише изолиррор унд металь варенверке» (ФРГ). Характеристики труб представлены в табл. 25.

Т а б л и ц а 25

Внутренний диаметр D , мм	Высота гофра h , мм	Шаг гофра S , мм
38,0	1,9	4,7
45,0	2,0	4,9
58,9	2,0	5,2
72,8	3,2	5,2
91,8	3,3	5,2

В результате обработки опытных данных Бринк и Нильсон получили следующие расчетные зависимости (при температуре воды 20°) для труб: гладкостенных неперфорированных

$$v = 205,7 R^{0,718} i^{0,57}, \quad (\text{II.18})$$

$$q = 59,7 D^{2,718} i^{0,57}; \quad (\text{II.19})$$

гладкостенных перфорированных

$$v = 200,2 R^{0,718} i^{0,57}, \quad (\text{II.20})$$

$$q = 58,1 D^{2,718} i^{0,57}; \quad (\text{II.21})$$

гофрированных

$$v = 77,5 R^{0,665} i^{0,493}, \quad (\text{II.22})$$

$$q = 24,2 D^{2,665} i^{0,493}, \quad (\text{II.23})$$

где q — расход воды, $\text{м}^3/\text{сек}$;

D — внутренний диаметр трубы, м .

Показатель степени при i в последних двух формулах меньше 0,5. Это в принципе не соответствует общепризнанным положениям гидравлики трубопроводов и объясняется неточностью проведенных экспериментов или ошибками, допущенными при математической обработке опытных данных.

Подсчеты по уравнениям (II.18)—(II.23) показывают, что перфорация в гладкостенных трубах уменьшает пропускную способность их на 2,7%. Если пропускную способность гладкостенных труб принять за 100%, то у гофрированных она будет на 22—26% меньше.

И. Эрикссон [69] на основе анализа опытных данных Н. Бринка и С. Нильсона, а также рекомендаций Адольфсона и Бреттинга [62] установил, что эквивалентная шероховатость Δ в формуле Кёллебрука—Уайта (II.11) составляет для гладкостенных труб 0,005—0,010, гофрированных 1,1 мм. Для последних им рекомендована формула А. Бреттинга:

$$q = 27,7 D^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}; \quad (\text{II.24})$$

$$v = 89 R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}. \quad (\text{II.25})$$

Как показали А. Бекен и Г. Хейндрикс, режим потока в гофрированных трубах фирмы СБФ (ФРГ) с наружным диаметром 50, 65 и 100 мм соответствует закону квадратичного сопротивления, и для расчетов можно применять формулу Маннинга—Штриклера

$$v = K_m R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}, \quad (\text{II.26})$$

где $K_m = 60/49$ при $D = 50$ мм,
 $K_m = 64/52$ при $D = 65$ мм,
 $K_m = 60/52$ при $D = 100$ мм.

В числителе даны значения K_m , соответствующие внутреннему диаметру труб, а в знаменателе — номинальному (близкому к наружному). Указанные в знаменателе коэффициенты K_m являются как бы условными, ибо общепринято давать внутренние (расчетные) диаметры. Однако для труб из пластмасс это имеет определенный смысл, так как маркируют их по наружному диаметру. Формула (II.26) дает значения скорости воды в гофрированных трубах в среднем на 22% меньшие по сравнению с формулой (II.22). Формула А. Бреттинга, наоборот, дает на 15% большие значения. Различия в числовых значениях скоростного коэффициента некоторые авторы объясняют несовершенством методики экспериментов с гофрированными трубами. По нашему мнению, основные расхождения вызваны различиями в конструкциях самих труб, т. е. неодинаковой конфигурацией гофров и размеров их шага и высоты. Значительные различия в параметрах гофров приводят к большим расхождениям числовых значений скоростного коэффициента.

Для гладкостенных труб известны зависимости, отвечающие закону квадратичного сопротивления. Так, О. Цельдам и К. Решке [89] предлагают гладкостенные трубы фирмы «Вавин» рассчитывать по формуле Маннинга—Штриклера с коэффициентом $K = 100—120$. Р. Кабина и В. Тлапек [75] для гладкостенных ПВХ труб, выпускаемых для дренажа в Чехословакии, предлагают ту же формулу с коэффициентом $K = 112,62$. При этом рекомендуют принимать поправку, равную 0,7, из расчета на зарастание (заиление) дрен в период их эксплуатации.

Таким образом, одни авторы относят гладкостенные пластмассовые трубы к гидравлически гладким, другие предлагают пользоваться формулами квадратичного сопротивления. Такие значительные расхождения объясняются, с одной стороны, различием в обработке внутренней поверхности труб, выпускаемых различными странами, с другой — неправильной методикой опытов, отсутствием анализа режима работы труб и установления области сопротивления. В этой связи вызывает возражение, например, рекомендация Г. Я. Сегалю и Э. К. Эглия [44] применять для расчета гладкостенных труб фор-

мулу Шези с определением коэффициента C по формуле И. И. Агроскина. Ими же приводятся и числовые значения коэффициента шероховатости n , полученные в результате подстановки экспериментальных данных в формулу И. И. Агроскина. Такая рекомендация неприемлема, а числовые значения n ошибочны, ибо, как доказано многочисленными экспериментами Ф. А. Шевелева, М. М. Сапожникова и других, гладкостенные трубы не работают в квадратичной зоне; формула же И. И. Агроскина справедлива только в этой области.

В процессе эксплуатации дренажа в той или иной степени изменяется внутренняя шероховатость стенок труб: отлагаются наносы, прилипают железистые соединения и т. п. Исследования степени уменьшения пропускной способности пластмассовых дренажных труб в процессе эксплуатации пока не проводились.

§ 3. Методика экспериментов

Гидравлические закономерности движения жидкости в водопроводных и дренажных трубах из полимерных материалов изучались на специальной экспериментальной установке общей длиной 35 м (рис. 28). На ней можно было одновременно испытывать три трубные линии протяженностью до 24 м. Установка работала по замкнуто-

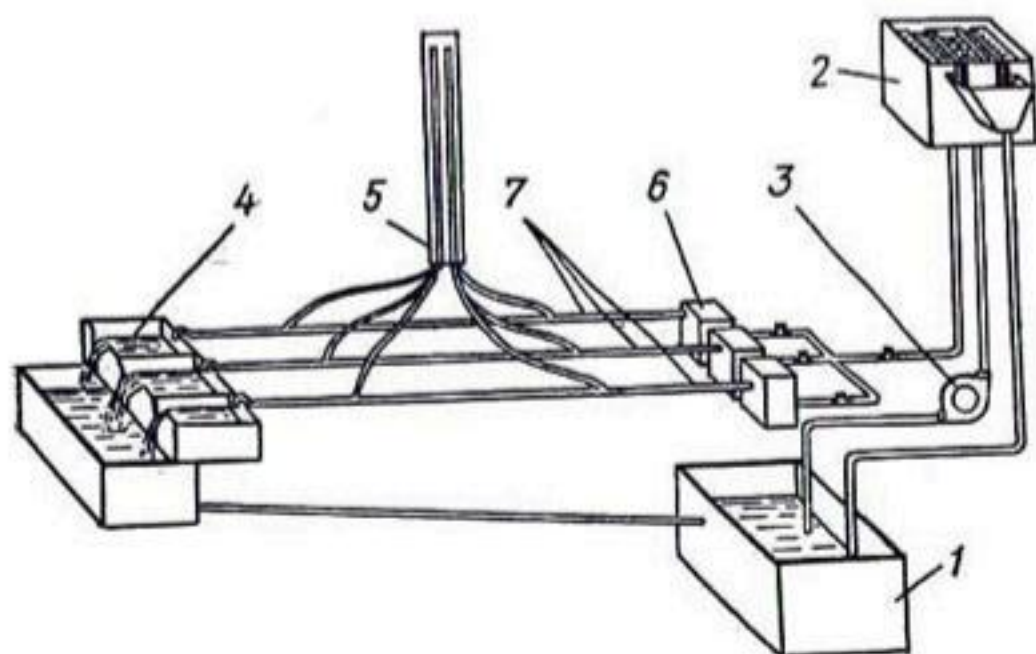


Рис. 28. Схема гидравлической установки:

1 — сборный резервуар; 2 — напорный бак; 3 — насос; 4 — водомерный бак; 5 — пьезометры; 6 — баки-успокоители; 7 — испытываемые трубы.

му циклу и обеспечивалась водой двумя центробежными насосами 6к—12 и 8к—18, общей производительностью до 150 л/сек. Максимальный напор составлял 4,5 м. Сборный резервуар емкостью 25 м³ предварительно заполняли водопроводной водой, которую по мере необходимости обновляли. Из сборного резервуара воду насосами подавали в напорный бак емкостью 10 м³. Постоянный горизонт воды в нем поддерживали с помощью двух лотковых водосливов, отводящих ее в сливную воронку, соединенную со сборным резервуаром. Из напорного бака вода по питательному трубопроводу $D=250$ мм поступала в распределительную гребенку, и далее по трем трубопроводам $D=100, 150$ и 250 мм к успокоителям воздухоборникам. На каждом из напорных трубопроводов установлены задвижки, с помощью которых регулировался расход в исследуемой трубе. Успокоители воздухоборники объемом по 600 л каждый оборудованы кранами для удаления воздуха и слива воды. Испытуемые трубы подсоединяли к успокоителям через конусные насадки с помощью металлических фланцев с резиновыми прокладками; располагали их строго горизонтально в дощатых коробках на деревянной эстакаде. При необходимости им придавали определенный уклон.

Прошедшая через исследуемые трубы вода поступала в мерные баки с треугольными водосливами и далее в приемный бассейн, откуда по сливному лотку сбрасывалась в сборный резервуар. Для фиксирования давления по длине исследуемых труб установка оборудована пьезометрами. Места отбора давлений с пьезометрами соединяли резиновыми трубками, которые подсоединяли к испытуемым трубам через полиэтиленовые штуцера, приваренные к ним. В стенках труб после приварки штуцеров просверливали отверстия диаметром 3 мм. К гофрированным трубам штуцера подсоединяли через полиэтиленовые гладкостенные муфты, насаженные на трубы. Количество жидкости, протекающей по испытуемым трубам, измеряли с помощью треугольных водосливов, объемным и весовым способом. Последние применяли при расходе менее 4 л/сек. Для выравнивания потока перед измерительными участками и за ними имелись нерасчетные участки длиной не менее 50 D .

Дренажные трубопроводы наряду с транспортированием воды за пределы осушаемого участка одновременно собирают ее из грунта. Вследствие поступления во-

ды в полость труб в транзитном потоке возникают дополнительные потери напора, которые, суммируясь с потерями на трение, обусловленными шероховатостью стенок, уменьшают пропускную способность дренажа. При экспериментальном исследовании гидравлических сопротивлений перфорацию и стыки мы покрывали снаружи гидроизоляционным материалом с целью обеспечения водонепроницаемости. Осуществлялось это путем покрытия рядов отверстий 2,5-сантиметровой полосой медицинского лейкопластыря, сплошной обмоткой сверху изоляционной лентой с последующим покрытием разогретым битумом. Потери напора определяли так же, как и в водопроводных трубах. Эта общепринятая методика в известной степени условна, так как не учитывает потери на вихревые сопротивления, вызываемые водой, поступающей в трубы через перфорацию.

А. И. Егоров [14] исследовал вихревые сопротивления, возникающие в трубчатых системах при распределении и сборе воды. На основе экспериментальных работ и теоретических решений он получил приведенные ниже расчетные зависимости для определения коэффициента вихревых сопротивлений C_v , характеризующего отношение суммарных потерь на трение и вихревые сопротивления h_c к потерям напора только на трении $h_{дл}$ на одном и том же участке движения турбулентного потока:

$$C_v = \frac{h_c}{h_{дл}} = \alpha E_*^n + 1, \quad (II.27)$$

где E_* — безразмерный параметр, характеризующий отношение живых сил струй и потока на элементарном участке дырчатой трубы

$$E_* = \frac{q_*}{v_*^2}; \quad q_* = \frac{q}{Q}; \quad v_* = \frac{v_n}{v_c}; \quad (II.28)$$

q — расход, поступающий через круглые отверстия в стенке трубы на участке ΔS ;

Q — расход, проходящий по трубе на том же участке;

v_n — скорость потока в трубе;

v_c — скорость струй;

α и n — коэффициент пропорциональности и показатель степени, зависящие от угла входа струй φ и параметра β , определяемого зависимостью

$$\beta = \cos \frac{\pi \delta}{2\eta d_0}; \quad (\text{II.29})$$

δ — толщина стенки трубы вблизи кромки отверстия;

d_0 — диаметр отверстия в свету;

$\eta = \frac{\delta_{кр}}{d_0}$ — коэффициент, характеризующий предельное условие истечения струй из отверстия;

$\delta_{кр}$ — критическая толщина стенки, при которой струя вытекает из отверстия нормально к оси трубы, независимо от скорости движения транзитного потока.

По опытам А. И. Егорова $\eta = 1,36$;

$$\alpha = 1,5 (\beta + 1); \quad (\text{II.30})$$

$$n = 0,37 \exp [2,1 (\beta + 1) - 1,45 (\beta + 1)^2]. \quad (\text{II.31})$$

Воспользуемся приведенными формулами и оценим влияние вихревых сопротивлений на потери напора в пластмассовых дренажных трубах. При этом расход и скорость воды в них определим по формулам (II.38) и (II.39) § 4, а скорость струй по формуле

$$v_c = \frac{10^3 q_1}{FL}, \quad (\text{II.32})$$

где q_1 — модуль дренажного стока, л/сек. га;

F — площадь перфорационных отверстий на единицу длины дрены, см²;

L — длина дренажных линий на 1 га, м.

Исходные параметры и результаты расчетов представлены в табл. 26, из которой видно, что в обычных условиях работы дренажных систем потери напора на вихревые сопротивления не превышают 2% от общих потерь по длине. Исследования, проведенные И. Весселингом и Ф. Гомма [87] в условиях, близких к натурным, показали, что приток воды к дренам практически не влияет на гидравлическую шероховатость труб. Все это позволяет не учитывать вихревые сопротивления и проводить гидравлические исследования дренажных труб без внешнего бокового притока.

Основная методическая предпосылка в наших опытах заключалась в обеспечении таких условий, при кото-

Диаметр трубы D , мм	Толщина стенки δ , мм	Диаметр перфорации d_0 , мм	Уклон дрен, i	Модуль дренажного стока q_1 , л/сек. га	Площадь перфорации F , см ² /пог. м	Длина дрен на 1 га L , м	Коэффициент вихревых сопротивлений C_v
38	2,0	2,0	0,002	1,0	10	400	1,0098
50	1,6	1,5	0,003	0,8	5	500	1,0082
86	3,5	1,5	0,002	0,6	15	400	1,0172
133	4,0	2,0	0,002	0,8	10	600	1,0200

рых полностью выявились бы общие закономерности движения жидкости в дренажных трубах. Диаметр их, конструкция, способы сочленения, расход воды, степень наполнения принимали с таким расчетом, чтобы охватить все возможные условия работы дренажа. Установление гидравлических сопротивлений в трубах заключается в получении исходных данных для вычисления величины коэффициента сопротивления (трения) при соответствующих числах Рейнольдса и величин потерь напора. Предварительные опыты показали, что равномерное движение жидкости в трубах устанавливается менее чем за 30 минут от начала эксперимента или изменения расхода. Поэтому первые отсчеты мы брали через 40—60 минут. Опыты проводили ступенями (не менее 15) при постоянном расходе воды на каждой. Начинали с минимального и кончали максимально возможным расходом. В конце опытов для каждой трубы проводили 3—5 замеров при сбросе расхода до минимального. При обработке опытных данных по замеренным величинам Q , Δh и v вычисляли $\lg Re$, $\lg 100\lambda$ и $\frac{1}{V\lambda}$. В качестве основной принима-

ли графическую анаморфозу в координатах $\frac{1}{V\lambda}$ и Re , дающую наглядное представление взаимосвязи λ и Re и области сопротивления, в которой работают трубы. Расчетные формулы получали на основе обработки графиков $\lg 100\lambda = f(\lg Re)$ и обобщенного решения уравнений прямых.

§ 4. Гидравлические сопротивления в гладкостенных полиэтиленовых трубах

а) Водопроводных (неперфорированных). Исследовались гидравлические сопротивления в водопроводных неперфорированных трубах Борисовского, Вильнюсского и Рижского заводов пластмассовых изделий, изготовленных из стабилизированного ПВД согласно МРТУ 6 № 05-856-61, МРТУ 6 № 05-917-63 и МРТУ 6 № 05-917-67. Числовые значения их основных параметров и диапазоны v и Re приведены в табл. 27.

Таблица 27

Диаметр, мм		Длина участка, м			v, м/сек		Re: 1000	
наружный	внутренний	измерительного	входного	выходного	min	max	min	max
42	37,4	5,99	7,10	8,0	0,384	1,003	9	32,6
50	45,0	6,00	7,10	8,0	0,119	1,040	4,4	38,9
90	72,4	5,60	5,70	8,85	1,070	2,740	59,2	132,6
110	97,0	5,60	5,65	8,90	0,600	2,990	53,6	248,3

Экспериментальные данные, характеризующие гидравлические сопротивления в трубе $D=97$ мм, представлены в табл. 28.

Графические анаморфозы $\lg(100\lambda) = f(\lg Re)$ в исследованных пределах скоростей движения жидкости v и чисел Рейнольдса Re представляют собой прямые параллельные линии (рис. 29), которые в общем виде аппроксимируются уравнением

$$\lg(100 \lambda) = \lg a + \alpha \lg Re. \quad (II.33)$$

Коэффициенты a и α вычисляли методом средних. Для этого по экспериментальным данным составляли уравнения $\lg(100 \lambda_i) = \lg a + \alpha \lg Re_i$, число которых n равно числу замеров отдельно для каждой трубы. Количество полученных таким образом уравнений разбивали на две примерно равные группы. Числовые значения коэффициентов α и a находили из совместного решения уравнений

$$\sum_{i=1}^m \lg(100 \lambda_i) = m \lg a + \alpha \sum_{i=1}^m \lg Re_i;$$

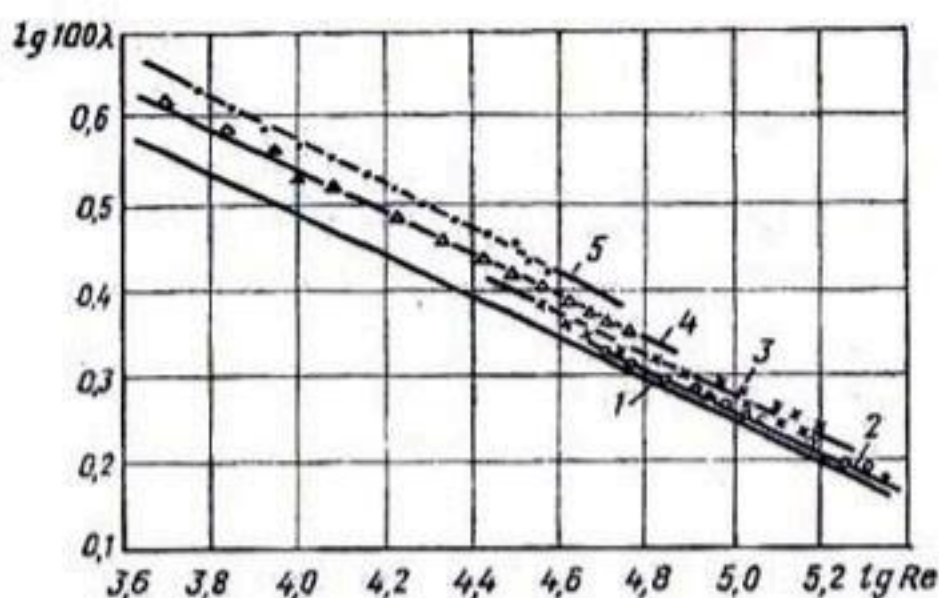


Рис. 29. Зависимость $\lg 100\lambda = f(\lg Re)$ для гладкостенных полиэтиленовых труб:

1 — линия гладких труб; 2 — $D = 97$ мм; 3 — $D = 72,4$ мм; 4 — $D = 45$ мм; 5 — $D = 37,4$ мм.

$$\sum_{m+1}^n \lg(100 \lambda_i) = (n - m) \lg a - a \sum_{m+1}^n \lg Re_i.$$

В результате решения системы уравнений получены [28, 32] следующие значения коэффициентов сопротивления трения для труб $D = 37,4$ мм

$$\begin{aligned} D = 45,0 \text{ мм} \quad \lambda &= \frac{0,343}{Re^{0,25}}; \\ D = 72,4 \text{ мм} \quad \lambda &= \frac{0,335}{Re^{0,25}}; \\ D = 97,0 \text{ мм} \quad \lambda &= \frac{0,326}{Re^{0,25}}; \\ \lambda &= \frac{0,323}{Re^{0,25}}. \end{aligned} \tag{II.34}$$

М. М. Сапожников [47] получил для полиэтиленовых водопроводных труб $D = 20,8$ мм

$$\lambda = \frac{0,389}{Re^{0,25}};$$

Результаты гидравлических испытаний полиэтиленовых труб
 $D=97$ мм.

$Q, \text{л/сек}$	$\Delta h, \text{мм}$	$V, \text{м/сек}$	Re	λ	$\lg 100\lambda$	$\lg Re$	$100 i$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$
4,423	21	0,60	53 600	0,01996	0,300	4,729	0,38	7,08
6,299	41	0,85	72 549	0,01922	0,287	4,860	0,73	7,22
9,640	84	1,31	111 067	0,01700	0,230	5,045	1,51	7,67
10,396	100	1,41	116 555	0,01738	0,240	5,066	1,79	7,60
11,85	123	1,61	129 461	0,01627	0,211	5,112	2,20	7,85
12,59	142	1,70	133 742	0,01666	0,221	5,126	2,54	7,76
13,82	169	1,87	146 782	0,01644	0,215	5,167	3,03	7,79
14,39	187	1,95	157 100	0,01642	0,215	5,196	3,28	7,82
15,31	206	2,07	167 132	0,01634	0,213	5,223	3,69	7,84
16,02	229	2,17	170 217	0,01658	0,219	5,231	4,10	7,78
16,87	245	2,28	183 518	0,01613	0,207	5,268	4,39	7,88
17,66	275	2,39	187 601	0,01640	0,214	5,273	4,92	7,83
18,05	300	2,44	197 003	0,01712	0,233	5,294	5,37	7,65
19,55	311	2,65	213 454	0,01512	0,179	5,329	5,57	8,15
20,19	328	2,73	220 413	0,01496	0,174	5,343	5,87	8,18
20,71	347	2,80	232 230	0,01504	0,177	5,366	6,22	8,18
21,41	370	2,90	240 082	0,01501	0,176	5,380	6,63	8,17
22,14	384	2,99	248 301	0,01456	0,163	5,395	6,88	8,30

$$D=34,2 \text{ мм}$$

$$\lambda = \frac{0,355}{Re^{0,25}} ; \quad (II.35)$$

$$D=52,3 \text{ мм}$$

$$\lambda = \frac{0,327}{Re^{0,25}} ;$$

$$D=86,0 \text{ мм}$$

$$\lambda = \frac{0,324}{Re^{0,25}} .$$

На рис. 30 представлен сводный график $\lg(100\lambda) = f(\lg Re)$, из которого видно, что значения коэффициента сопротивления трения при одних и тех же значениях критерия движения жидкости тем меньше, чем больше диаметр труб. С увеличением D значения λ приближаются к линии для гладких труб, построенной по уравнению (II.13). В результате совместного решения уравне-

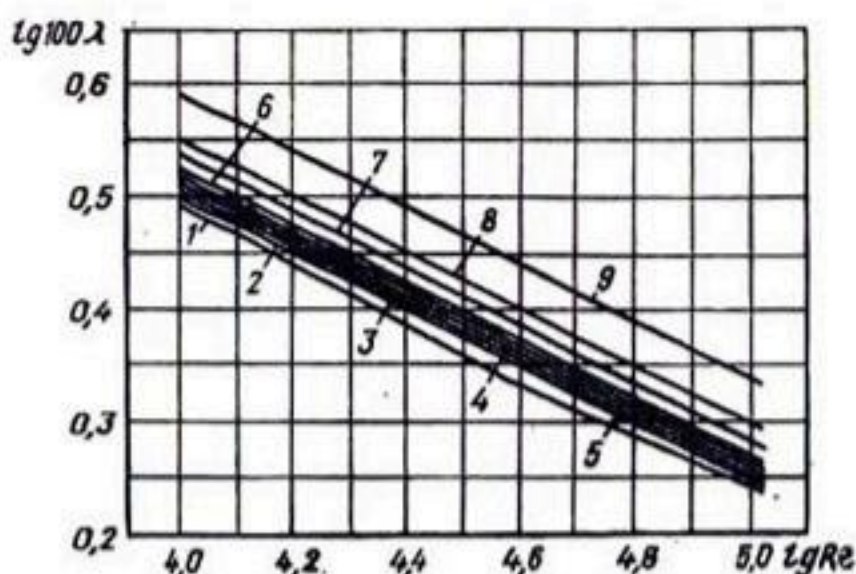


Рис. 30. Сводный график зависимости $\lg 100\lambda = f(\lg Re)$ для полиэтиленовых гладкостенных неперфорированных труб:

1 — линия гладких труб; 2 — $D = 97$ мм; 3 — $D = 86$ мм; 4 — $D = 72,4$ мм; 5 — $D = 52,3$ мм; 6 — $D = 45$ мм; 7 — $D = 37,4$ мм; 8 — $D = 34,2$ мм; 9 — $D = 20,8$ мм (3, 5, 8, 9, — данные М. М. Сапожникова).

ний (II.34) и (II.35) получено [28] общее уравнение для коэффициента сопротивления

$$\lambda = \frac{0,318}{D^{0,09} Re^{0,25}}. \quad (\text{II.36})$$

Потери напора на трение на прямолинейных участках неперфорированных гладкостенных полиэтиленовых труб выражаются зависимостью

$$100 i = 0,0269 \frac{Q^{1,75}}{D^{1,84}}, \quad (\text{II.37})$$

где Q — расход, л/сек;

D — внутренний диаметр труб, дм.

По (II.37) можно рассчитать параметры гладкостенных неперфорированных коллекторов и напорных водопроводных труб, выпускаемых отечественной промышленностью. Но эта формула не учитывает потери напора в стыковых соединениях, и ею можно надежно пользоваться в пределах $20 \leq D \leq 100$ мм и $5000 \leq Re \leq 250\,000$.

б) Дренажных (перфорированных). Перфорация в дренажных трубах обуславливает возникновение дополнительных сопротивлений и увеличивает потери напора на трение. Это уменьшает их пропускную способность по сравнению с неперфорированными. Как установлено сравнительными испытаниями [28], применяемая в

настоящее время круглая и продольно-щелевая перфорация хорошего качества уменьшает пропускную способность труб на 2,7—6,5%. Величина дополнительных потерь напора существенно зависит от формы, качества перфорации и особенно от размеров внутренних заусенцев. Более приемлемой следует считать перфорацию в виде круглых отверстий или коротких щелей [32].

В расчетах дренажных труб из полиэтилена рекомендуется пользоваться формулами, полученными из (II.37):

$$q = 65,27 \chi_1 D^{2,765} i^{0,571}; \quad (\text{II.38})$$

$$v = 240,2 \chi_1 R^{0,765} i^{0,571}, \quad (\text{II.39})$$

где q — расход, $\text{м}^3/\text{сек}$;

v — средняя скорость воды, $\text{м}/\text{сек}$;

D — внутренний диаметр трубы, м ;

R — гидравлический радиус, м ;

χ_1 — коэффициент, учитывающий влияние перфорации, $\chi_1 = 0,93—0,98$. В неперфорированных трубах $\chi_1 = 1,0$.

Формулы (II.38), (II.39) справедливы для новых труб. Встает вопрос, насколько они правильны по отношению к трубам, бывшим в эксплуатации. Известно, что отводимые дренажем грунтовые воды содержат окись железа, различные соли и другие соединения, а также взвешенные частицы грунта. Не исключена адгезия указанных веществ к стенкам труб, увеличивающая потери напора. А. И. Митрахович [26] исследовал гидравлические сопротивления полиэтиленовых гладкостенных труб $D_n = 42 \text{ мм}$ после 4-летней работы на осушаемом болоте грунтово-напорного питания. Внутренняя поверхность труб частично или полностью была покрыта тонким слоем окиси железа, причем этот налет остался и после гидравлических испытаний. По результатам опытов закономерности движения жидкости в трубах, бывших в эксплуатации 4 года, и новых одни и те же и пропускная способность их одинакова (рис. 31). Можно предположить, что и при более длительном сроке эксплуатации шероховатость труб будет изменяться незначительно. Тогда для гидравлических расчетов годятся формулы (II.38) и (II.39). Однако это положение пока нельзя считать достаточно обоснованным. Необходимы дальнейшие исследования с более длительным сроком эксплуатации труб в различных почвенно-гидрологических условиях.

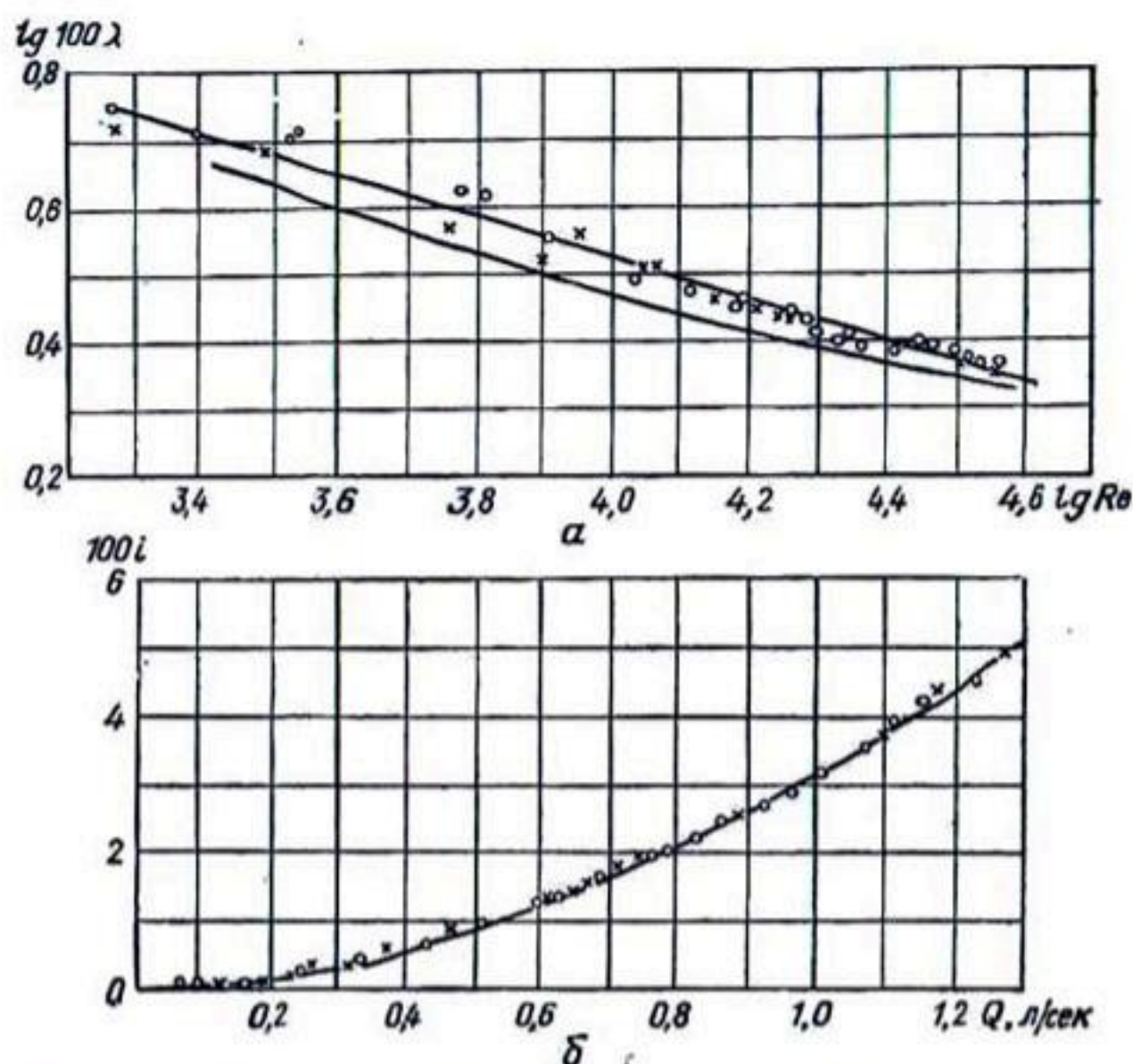


Рис. 31. Зависимость $\lg 100 \lambda = f(\lg Re)$ и $Q = \varphi(100 i)$. Трубы полиэтиленовые гладкостенные $D=36,6$ мм новые (x) и бывшие в эксплуатации (o).

На рис. 32 представлены графики $\frac{1}{V \lambda} = f(\lg Re)$ для гладкостенных труб из полиэтилена. На нём $A-B$ — линия гладких труб, $B-\Gamma$ — граница квадратичной области. Как видим из рисунка, полиэтиленовые гладкостенные трубы (водопроводные и дренажные) в исследованных пределах v и Re работают в первой половине переходной области сопротивления. Поэтому на них не могут быть распространены формулы квадратичного закона сопротивления. Коэффициент гидравлического трения λ зависит как от числа Рейнольдса, так и от относительной шероховатости.

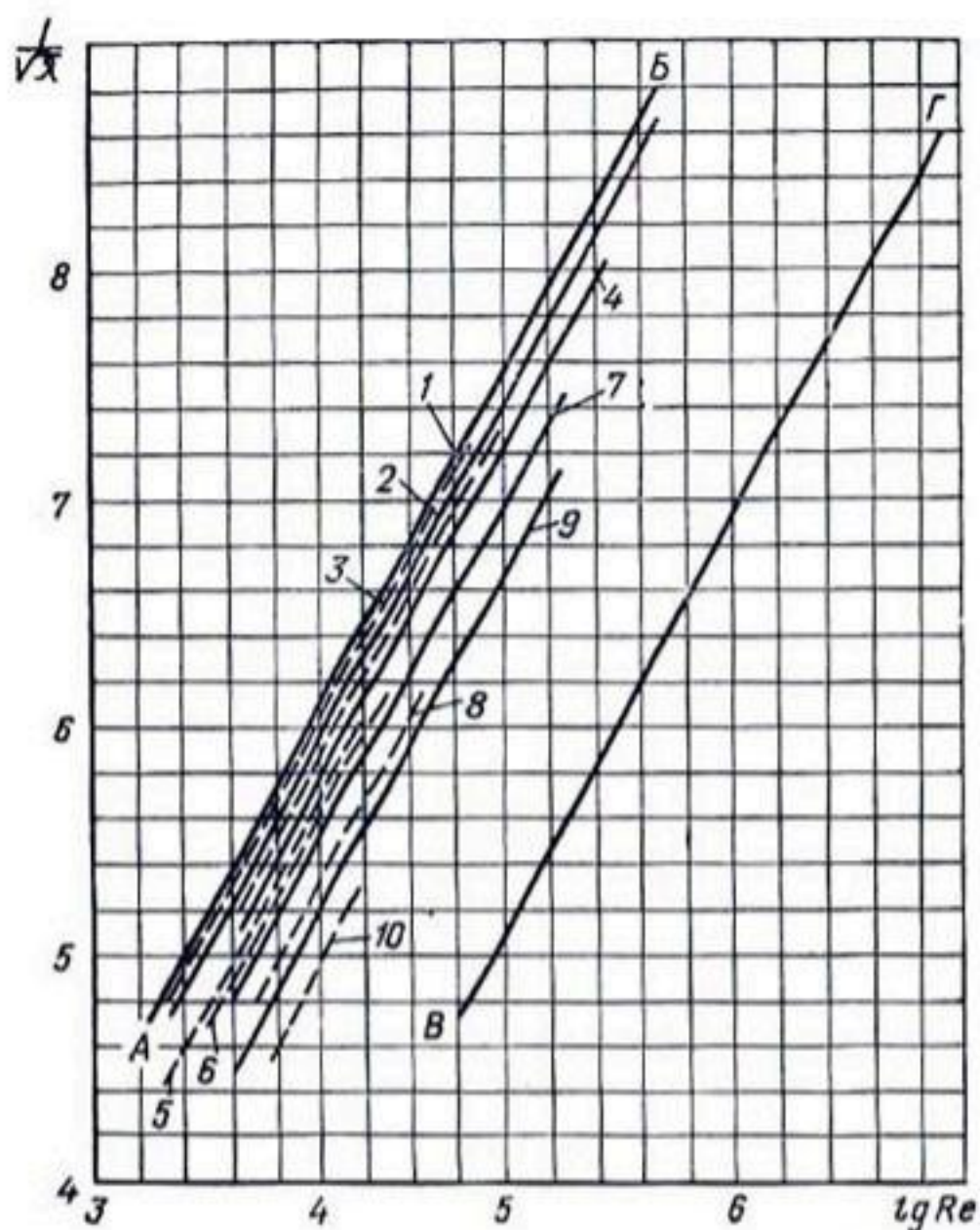


Рис. 32. Зависимость $\frac{1}{\lambda} = \varphi(\lg Re)$ для гладкостенных полиэтиленовых труб:

1 — $D = 97$ мм; 2 — $D = 86$ мм; 3 — $D = 72,4$ мм; 4 — $D = 52,3$ мм; 5 — $D = 45$ мм; 6 — $D = 37,4$ мм; 7 — $D = 34,2$ мм; 8 — $D = 37,4$ мм с двумя рядами щелей; 9 — $D = 20,8$ мм; 10 — $37,4$ мм с тремя рядами щелей.

A—B — линия гладких труб; B—Γ — граница квадратичной области.

§ 5. Гидравлические сопротивления в гладкостенных поливинилхлоридных трубах

Поливинилхлоридные (винипластовые) трубы в настоящее время изготавливают способом непрерывной шнековой экструзии. Он производительнее ранее применявшегося способа штамппрессования и обеспечивает лучшие гидравлические характеристики труб.

Закономерности гидравлических сопротивлений в трубах, изготовленных штангпрессованием, изучены М. М. Сапожниковым [47]. Получены следующие зависимости

$$\lambda = 0,39 \frac{D^{0,01}}{Re^{0,25}}; \quad (II.40)$$

$$\lambda = 0,04 \frac{D^{0,35}}{Q^{0,25}} \text{ (при } t = 10^\circ). \quad (II.41)$$

Потери напора на прямолинейных участках трубопроводов без учета потерь в стыковых соединениях определяются выражением

$$100 i = 0,032 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,65}}. \quad (II.42)$$

Первые исследования гидравлических сопротивлений в гладкостенных трубах из ПВХ $D=25$ и 100 мм, изготовленных шнековой экструзией, в СССР провёл М. М. Сапожников [47]. Он установил, что коэффициент сопротивления трения практически соответствует λ для гладких труб. Однако рекомендуется запас в 2—5%. Исходя из формулы А. Ф. Шевелева [57] и запаса 5%, для гладкостенных труб из ПВХ

$$\lambda = \frac{0,262}{Re^{0,226}}. \quad (II.43)$$

Потери напора без учета сопротивлений в стыках (при $t=10^\circ$) на прямолинейных участках экструдированных труб из ПВХ определяется зависимостью

$$100 i = 0,0276 \frac{Q^{1,774}}{D^{4,774}}. \quad (II.44)$$

Более детально гидравлические сопротивления в гладкостенных винипластовых трубах исследовал Ю. С. Оффенгенден [38]. Он установил, что коэффициент сопротивления трения винипластовых и полиэтиленовых (стабилизированных) труб имеет значение

$$\lambda = (0,0386 - 0,0028 D) \left(\frac{D}{Q} \right)^{0,22}, \quad (II.45)$$

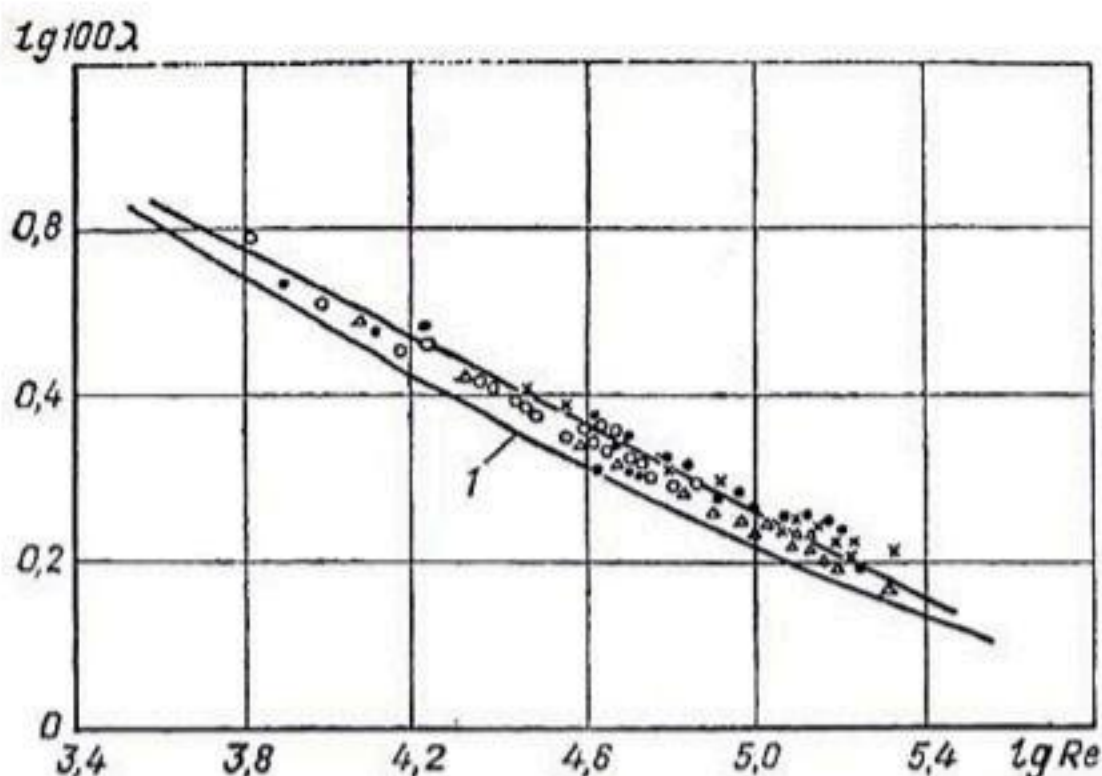


Рис. 33. Зависимость $\lg 100\lambda = f(\lg Re)$ для гладкостенных поливинилхлоридных труб:

1 — линия гладких труб; $\circ$ — $d = 38$ мм; $\blacktriangle$ — $d = 48$ мм; $\bullet$ — $d = 72$ мм; $\times$ — $d = 86,6$ мм.

а потери напора на прямолинейных участках (при $t = 10^\circ$) определяются формулой

$$100 i = (0,32 - 0,023 D) \frac{Q^{1,78}}{D^{4,78}}. \quad (\text{II.46})$$

Гидравлические сопротивления экструдированных гладкостенных труб из ПВХ, выпускаемых в Швеции, изучали Н. Бринк и С. Нильсон [63]. Опыты они проводили при температуре воды 20° . В результате математической обработки графических анаморфоз $\lg i = f(\lg Q)$ ими получена следующая зависимость:

$$100 i = 0,0245 \frac{Q^{1,754}}{D^{4,768}}. \quad (\text{II.47})$$

Однако Н. Бринк и С. Нильсон не установили закономерности изменения коэффициента λ . Кроме того, формула (II.47) справедлива при температуре воды $t = 20^\circ$, в то время как общепризнанными в водопроводной практике являются расчеты при $t = 10^\circ$. Учитывая это положение, мы сделали соответствующую математическую обработку опытов Н. Бринка и С. Нильсона (табл. 20). По вычисленным значениям λ и Re построили график

Уклон $i, \%$	Расход $q, \text{ л/сек}$	i	q	i	q	i	q
------------------	------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Трубы диаметром 38,0 мм

1,6	0,20	15,4	0,76	36,7	1,27	60,2	1,67
3,0	0,30	19,6	0,88	43,6	1,40	66,0	1,78
6,5	0,47	20,3	0,90	45,1	1,38	81,0	2,01
8,7	0,54	28,9	1,12	51,2	1,47	108,8	2,31
12,8	0,69	34,7	1,21	55,1	1,59		

Трубы диаметром 48 мм

1,0	0,30	16,2	1,50	38,4	2,43	59,5	3,11
2,5	0,51	22,1	1,77	43,2	2,58	66,3	3,29
4,4	0,67	27,1	1,98	47,9	2,70	90,8	3,88
10,9	1,19	33,0	2,25	53,0	2,91		

Трубы диаметром 72 мм

0,6	0,68	12,6	3,92	29,3	6,26	43,3	7,67
1,8	1,27	16,8	4,66	35,0	6,96	46,6	8,36
4,8	2,27	22,1	5,45	37,3	7,13	51,4	8,85
6,6	2,76	27,3	6,18	39,0	7,50	88,2	12,0

Трубы диаметром 86,6 мм

1,1	1,60	11,4	5,90	29,5	10,00	42,0	12,20
2,5	2,46	18,7	7,94	34,5	11,02	66,6	15,40
7,0	4,51	23,3	8,75	41,8	12,10		

$\lg 100\lambda = f(\lg \text{Re})$ (рис. 33). Результаты вычислений для труб $D=72$ мм представлены в табл. 30.

Опытные значения коэффициента λ , независимо от диаметра труб, довольно хорошо укладываются на одну прямую, расположенную выше линии гладких труб. Уравнение этой прямой, полученное нами по методу наименьших квадратов, имеет вид

$$\lg 100\lambda = 1,5514 - 0,26 \lg \text{Re}. \quad (\text{II.48})$$

Следовательно, коэффициент гидравлического трения в гладкостенных трубах из ПВХ равен

$$\lambda = \frac{0,356}{\text{Re}^{0,26}}. \quad (\text{II.49})$$

Уклон i , %	Расход q , л/сек	100 λ	$\lg 100 \lambda$	Re	$\lg \text{Re}$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$
Трубы диаметром 72 мм, $t=20^\circ$						
0,6	0,68	3,038	0,4827	11 965	4,0780	5,7366
1,8	1,27	2,613	0,4172	22 347	4,3490	6,1858
4,8	2,27	2,181	0,3387	39 943	4,6013	6,7705
6,6	2,76	2,029	0,3073	48 565	4,6864	7,0200
12,6	3,92	1,920	0,2833	68 976	4,8389	7,2166
16,8	4,66	1,801	0,2555	81 997	4,9140	7,4516
27,3	6,18	1,674	0,2237	108 740	5,0369	7,7292
29,3	6,26	1,751	0,2432	110 150	5,0425	7,5574
35,0	6,96	1,692	0,2284	122 470	5,0881	7,6876
37,3	7,13	1,718	0,2350	125 460	5,0990	7,6289
39,0	7,50	1,624	0,2105	131 920	5,1207	7,8481
43,4	7,67	1,727	0,2374	134 960	5,1307	7,6081
46,6	8,36	1,561	0,1935	147 100	5,1681	8,0032
51,4	8,85	1,153	0,1866	155 730	5,1928	8,0665
88,2	12,00	1,434	0,1566	211 150	5,3244	8,3500

Потери напора на прямолинейных участках при температуре воды $t=10^\circ$ определяются формулой

$$100 i = 0,027 \frac{Q^{1,74}}{D^{4,74}}. \quad (\text{II.50})$$

В табл. 31 сравнивается пропускная способность гладкостенных труб из ПВХ, вычисленная по формулам (II.44), (II.47), (II.46) и (II.50). Кроме того, приводится пропускная способность полиэтиленовых труб, вычисленная по нашей формуле (II.37). На рис. 34 представлены графики $Q=f(i)$.

Из табл. 31 и графика рис. 34 видим, что пропускная способность труб из ПВХ, определенная по различным формулам, существенно отличается. Максимальные значения дает формула Н. Бринка и С. Нильсона, так как числовые коэффициенты ее справедливы при $t=20$, а во всех остальных — $t=10^\circ$. Минимальные значения получены по формуле Ю. С. Оффенгендена. Это обусловлено, видимо, низким качеством внутренней поверхности труб, с которыми автор проводил опыты. Пропускная способность гладкостенных труб из ПВХ и ПВХ, определенная по нашим формулам (II.37) и (II.50), практически сов-

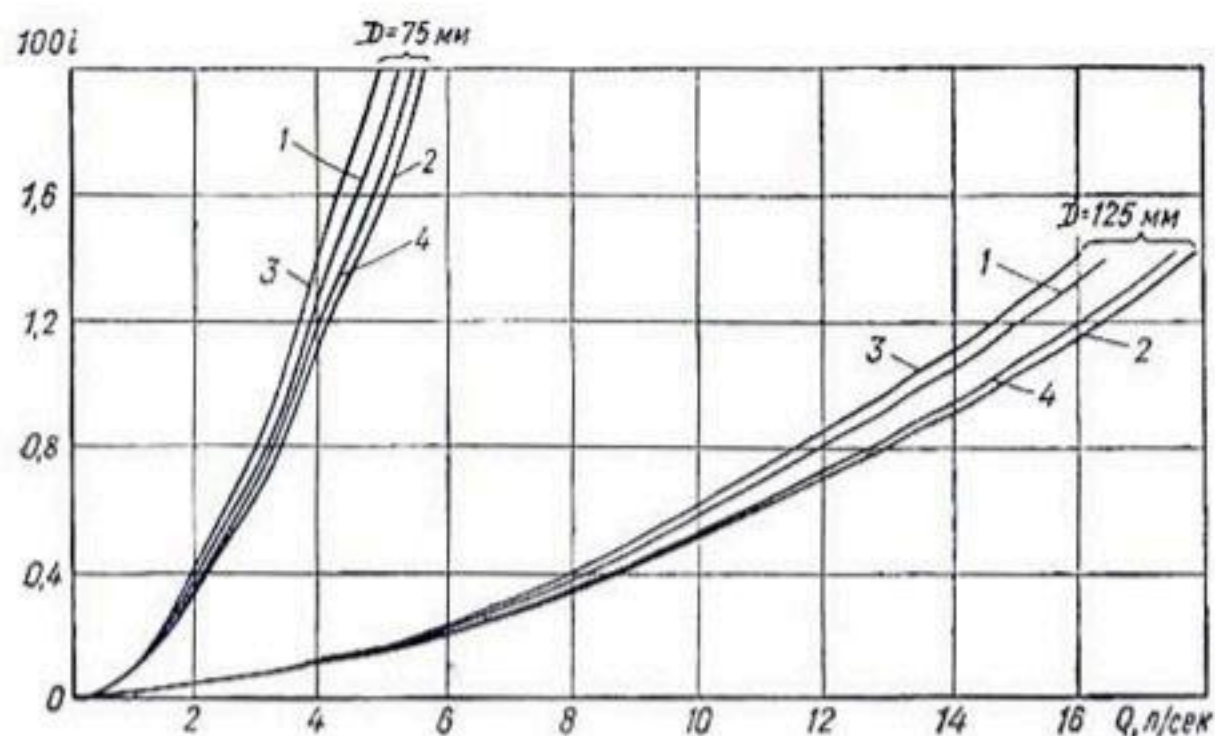


Рис. 34. Зависимость $Q=f(100i)$ для гладкостенных труб из ПВХ по формулам Сапожникова—Шевелева (1), Бринка—Нильсона (2); Оффенгендена (3) и автора (4).

Таблица 31

Формула	Внутренний диаметр труб D , мм	Расход Q л/сек при уклонах i				
		0,001	0,003	0,005	0,01	0,02
Сапожникова—Шевелева, (II. 44)	75	0,94	1,77	2,36	3,49	5,16
	125	3,77	7,00	9,20	13,79	19,86
Бринка—Нильсона, (II. 47)	75	1,02	1,91	2,55	3,79	5,63
	125	3,88	7,46	9,97	14,81	21,99
Оффенгендена, (II. 46)	75	1,09	1,69	2,26	3,29	4,93
	125	3,64	6,75	9,00	13,28	19,60
Мурашко, (II. 50)	75	0,97	1,83	2,44	3,64	5,42
	125	3,90	7,33	9,83	14,63	21,80
Мурашко, трубы из ПВХ, (II. 37)	75	0,96	1,79	2,40	3,56	5,29
	125	3,92	7,35	9,84	14,63	21,74

падает. Это позволяет, осреднив их, получить общую зависимость

$$100 i = 0,027 \frac{Q^{1,745}}{D^{4,79}} \quad (\text{II.51})$$

Для гидравлических расчетов гладкостенных дренажных труб из ПВХ и ПВП рекомендуются формулы

$$q = 61,62 \chi_1 D^{2,745} i^{0,573}, \quad (\text{II.52})$$

$$v = 220,5 \chi_1 R^{0,745} i^{0,573}, \quad (\text{II.53})$$

полученные из (II.51) и учитывающие влияние перфорации (коэффициент χ_1). Формулы (II.52) и (II.53) являются приближенными и общими для труб из ПВХ и ПВП. Более точные результаты дает формула (II.37) для труб из ПВХ и (II.50) для труб из ПВП. Однако максимальные отклонения не превышают $\pm 1,5\%$.

§ 6. Гидравлические сопротивления в гофрированных дренажных трубах

В настоящее время известно более десятка конструкций гофрированных труб, отличающихся по очертанию профиля гофра, размерам его высоты и шага. Применяются трубы с гофра, очерченными по полуокружности, синусоиде, прямоугольнику и трапеции. При этом отношение шага гофра S к его высоте h колеблется от 1,3 до 4,0 и более. Вдоль трубы гофры располагаются по одной или двухзаходной винтовой линии; применяются также кольцевые (замкнутые) гофры (рис. 35). Полукруглые

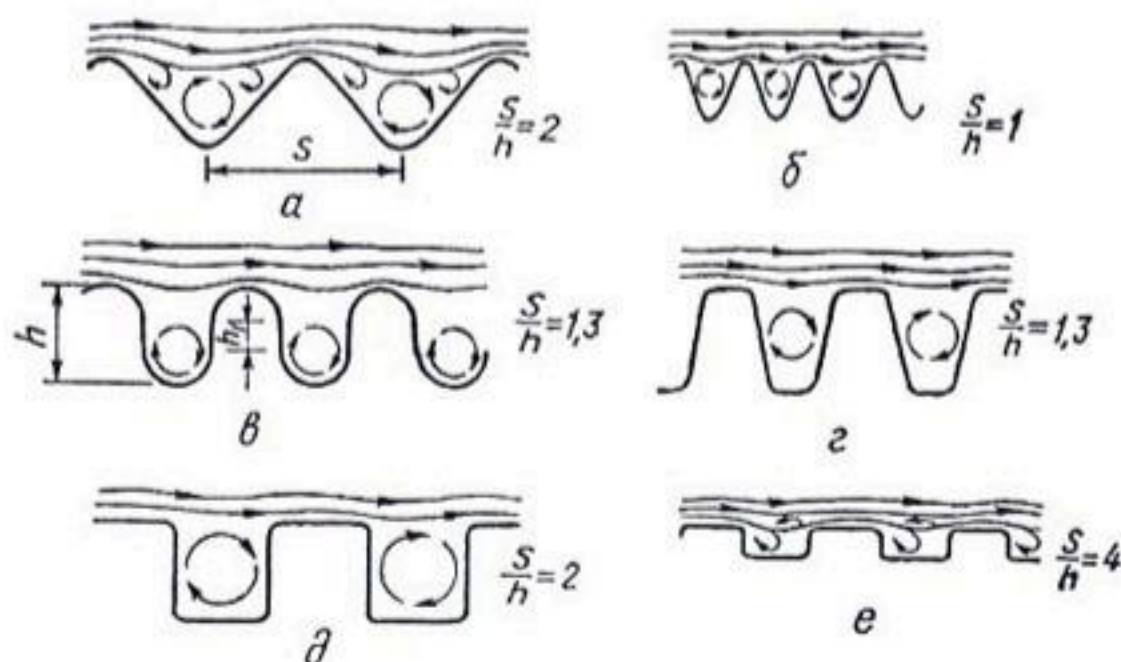


Рис. 35. Профили гофров дренажных труб из полимерных материалов:

а, б — синусоидальный; в — полукруглый; г — трапецидальный; д, е — коробчатый.

гофры состоят из двух полуокружностей (верхней и нижней), между которыми, как правило, имеется вертикальная вставка высотой h_1 , увеличивающая момент инерции сечения. В полукруглых гофрах $\frac{S}{h} \leq 2$, в трапецеидаль-

ных — наклон боковых ребер небольшой, радиус закругления малый. Коробчатый профиль состоит из горизонтальных и вертикальных элементов с очень малым радиусом закруглений в углах. В синусоидальных, коробчатых и трапецеидальных гофрах $1,3 \leq \frac{S}{h} \leq 6$. Гидравличе-

ские сопротивления в гофрированных трубах при равном внутреннем диаметре определяются в основном размерами гофров и практически не зависят от материала, из которого они изготовлены. При этом существенное значение имеют не только абсолютные величины параметров S и h , но и их соотношение. Для каждого диаметра трубы существует наиболее благоприятное значение величин S , h и отношение $\frac{S}{h}$. Кроме того, при одинаковых парамет-

рах гофров S и h , но различной конфигурации их потери напора на трение существенно отличаются. Это обусловлено, во-первых, неодинаковым периметром волны гофра, очерченного, например, по синусоиде и прямоугольнику; во-вторых, различными условиями обтекания выступов и впадин. Чем больше периметр волны гофра и резче переломы в углах, тем больше потери на трение и вихревые сопротивления. С точки зрения гидравлических сопротивлений, наиболее благоприятным очертанием гофров следует считать полуокружность и синусоиду (рис. 36). Трапецеидальный и коробчатый профиль должен вызывать значительно большие гидравлические сопротивления. Таким образом, потери напора в дренажных гофрированных трубах зависят от абсолютных значений высоты гофра h , длины волны S , их соотношения $\frac{S}{h}$, а так-

же диаметра труб и конфигурации гофров (формы кривой, по которой они очерчены). В известной степени сказывается также расположение гофров вдоль трубы: замкнутые они или идут по винтовой линии.

В гидравлических исследованиях гофрированных труб наметилось два подхода. Одни авторы предлагали формулы типа Маннинга—Штриклера, полученные на основе

обработки экспериментальных данных. При этом не оговаривалось, при каких значениях S и h и форме гофров эти формулы справедливы. Другие рекомендовали формулу Прандтля — Кёллебрука, отождествляя высоту гофра с высотой выступов шероховатости Δ , и не принимая во внимание

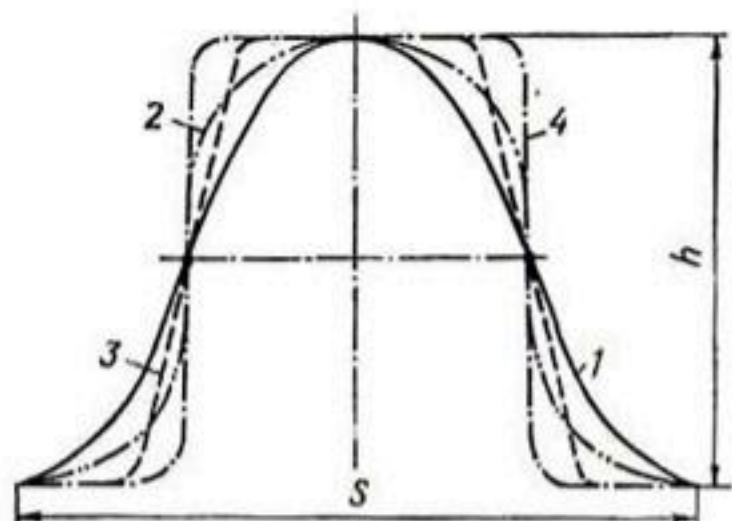


Рис. 36. Сравнение профилей гофров при одинаковых шаге S и высоте h :
1 — синусоидальный; 2 — полукруглый;
3 — трапецидальный; 4 — коробчатый.

другие факторы, влияющие на величину гидравлических сопротивлений [85]. Первый метод дает вполне приемлемую сходимость с опытными данными только для конструкций труб, с которыми проводились исследования, и распространять его на другие типы нельзя. Второй имеет значительные погрешности, так как сопротивления в гофрированных трубах определяются не только высотой гофров, но и рядом других факторов.

А. И. Митрахович [26] исследовал гидравлические сопротивления в гофрированных полиэтиленовых трубах,

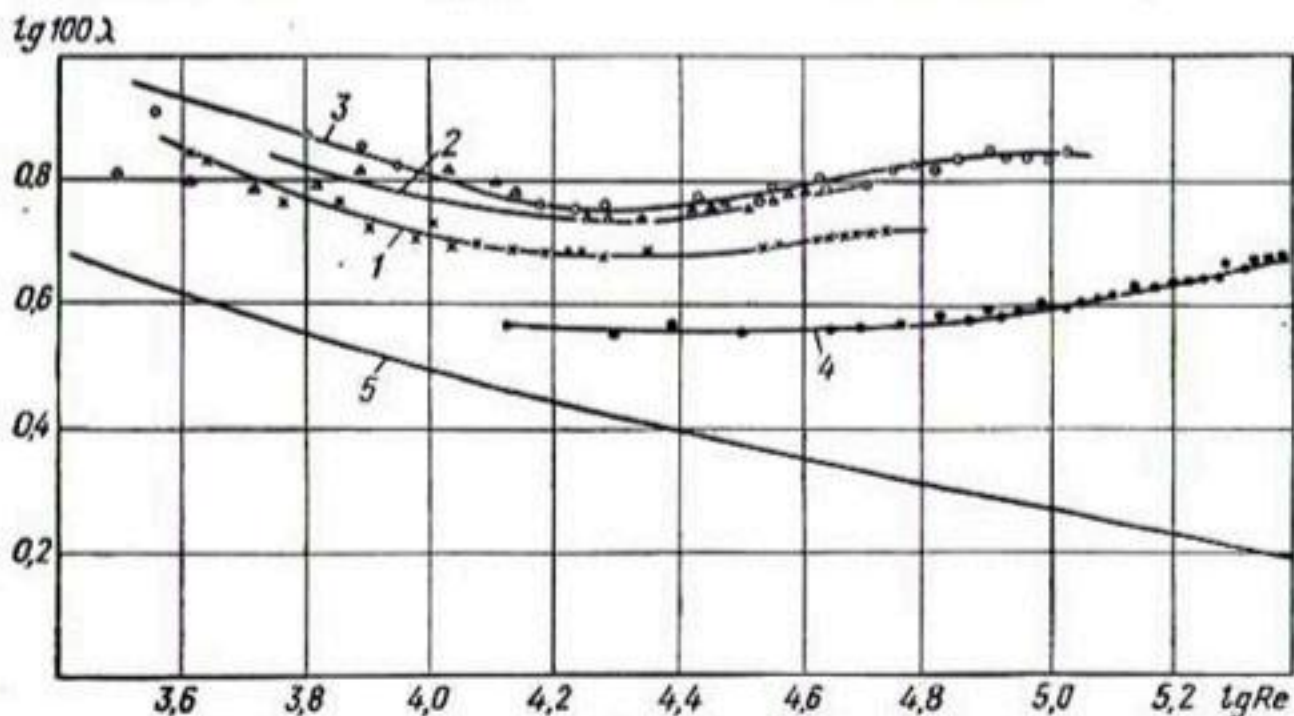
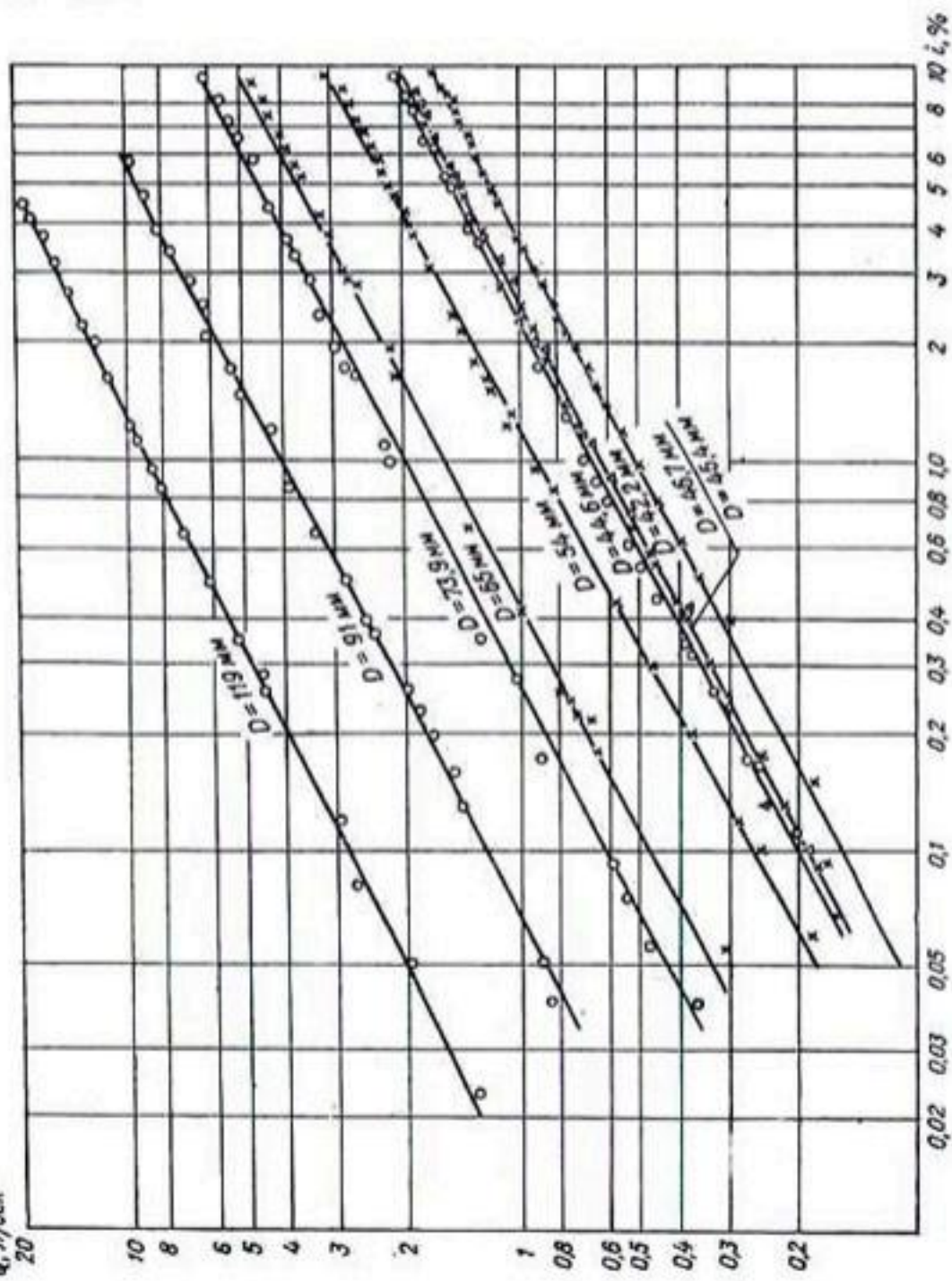


Рис. 37. Зависимость $\lg 100\lambda = f(\lg Re)$ для полиэтиленовых гофрированных труб конструкции БелНИИМВХ:

1 — $D = 44,6$ мм; 2 — $D = 45,4$ мм; 3 — $D = 73,9$ мм; 4 — $D = 119$ мм; 5 — линия гладких труб.

$Q, \text{ л/сек}$



выпускаемых в СССР. Эксперименты проводились с трубами конструкции БелНИИМиВХ производства БЗПИ и с трубами НИИПМ, выпускаемыми ВЗПИ. Параметры исследованных труб, диапазон скоростей и значений критерия движения жидкости Re приведены в табл. 32, результаты опытов — в приложениях XI и XII.

Т а б л и ц а 32

Завод-изготовитель	Диаметр труб, мм		Размер гофров, мм		Длина участка, м			Скорость воды v , м/сек		Число Рейнольдса Re	
	$D_{\text{н}}$ наружный	D внутренний	шаг S	высота h	измерительного	входного	выходного	min	max	min	max
БЗПИ	48,6	44,6	5,0	1,5	9,80	2,82	3,48	0,04	1,21	1512	53 000
»	51,0	45,4	6,0	1,5	5,93	4,40	2,70	0,07	1,16	2310	40 350
»	80,0	73,9	12,0	2,0	5,00	5,60	6,60	0,04	1,50	2220	107 000
»	100,0	91,0	8,2	4,0	4,40	10,9	7,20	0,16	1,67	9520	147 310
»	125,0	119	8,5	2,0	4,60	8,70	9,68	0,12	2,06	9362	232 000
ВЗПИ	50,0	42,2	5,9	2,5	11,17	4,94	7,25	0,08	1,11	3033	41 234
»	54,0	46,7	8,2	3,1	10,00	5,33	4,46	0,04	1,36	1518	52 946
»	63,0	54,4	8,5	3,5	10,00	5,35	7,00	0,04	1,21	2198	58 487
»	75,0	65,0	9,0	3,7	10,00	5,28	7,40	0,06	1,58	3519	105 549

Из графиков $\lg(100\lambda) = f(\lg Re)$ (рис. 37) видим, что с увеличением Re коэффициент λ монотонно убывает и при сравнительно небольших значениях $Re = 30\,000$ — $100\,000$ гофрированные трубы работают в области квадратичного сопротивления. В отличие от гладкостенных в них отсутствует закономерность уменьшения λ с увеличением D . Кроме того, коэффициент сопротивления трения λ у труб БелНИИМиВХ всех диаметров несколько ниже, чем у труб НИИПМ. Это объясняется меньшими числовыми значениями S и h у первых.

Представленные на рис. 38 графики $Q = f(i)$ в логарифмических координатах аппроксимируются прямыми линиями во всем диапазоне измеренных скоростей, т. е. в переходной и квадратичной областях сопротивлений. Отчетливо прослеживается закономерность уменьшения пропускной способности труб с уменьшением их диаметра, а также существенные различия между трубами кон-

струкции НИИПМ и БелНИИМиВХ. А. И. Митрахович [26] на основе математической обработки экспериментальных данных получил следующие уравнения:

Для труб конструкции БелНИИМиВХ

$$q = 22,79 D^{2,645} i^{0,503}; \quad (\text{II.54})$$

$$v = 70,92 R^{0,645} i^{0,503}. \quad (\text{II.55})$$

Для труб конструкции НИИПМ

$$q = 24,54 D^{2,667} i^{0,52}; \quad (\text{II.56})$$

$$v = 78,96 R^{0,667} i^{0,52}. \quad (\text{II.57})$$

Расчеты показывают, что пропускная способность труб конструкции БелНИИМиВХ значительно выше, чем труб НИИПМ. В табл. 33 даны величины расходов и скорость воды для двух труб, имеющих близкие диаметры. Несмотря на то, что трубы НИИПМ имеют на 9% большую площадь поперечного сечения, расход воды

Т а б л и ц а 33

Уклон дрен i	Трубы БелНИИМиВХ с замкнутыми гофрами $D=44,6$; $S=5,0$ $h=1,5$ мм		Трубы НИИПМ с шитовыми гофрами $D=46,7$; $S=8,2$; $h=3,1$ мм	
	Расход q , л/сек	Скорость v , см/сек	Расход q , л/сек	Скорость v , см/сек
0,001	0,192	12,2	0,185	10,5
0,002	0,275	17,5	0,232	13,5
0,003	0,340	21,0	0,329	19,0
0,004	0,395	25,0	0,397	22,0
0,005	0,444	28,0	0,428	25,0
0,006	0,486	31,0	0,470	27,0
0,008	0,574	37,0	0,546	32,0
0,010	0,637	40,0	0,614	36,0

в них на 5—6%, а скорость на 8—13% ниже, чем в трубах конструкции БелНИИМиВХ. На рис. 39 представлены графики $Q=f(i)$, построенные по формулам (II.54), (II.56) и формуле Бринка—Нильсона (II.23), предложенной для труб из ПВХ, выпускаемых фирмой «Френкише» (ФРГ). Пропускная способность гофрированных

труб БелНИИМиВХ и фирмы «Френкише» отличается незначительно. Максимальные отклонения составляют 5, а в среднем 3% в пользу первых. Трубы НИИПМ по сравнению с первыми двумя конструкциями пропускают на 7—9% меньший расход при одинаковых внутренних диаметрах и уклонах. Основная причина такого положения заключается в различных размерах высоты и шага гофров. Имеет значение также форма и расположение их вдоль труб. В трубах конструкции

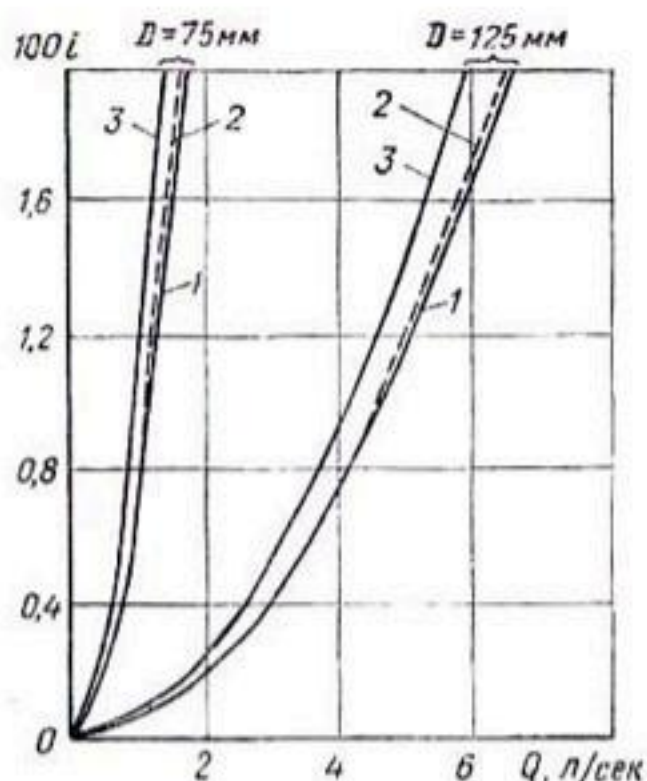


Рис. 39. Зависимость $Q = f(100i)$ для гофрированных дренажных труб конструкции БелНИИМиВХ (1), SBF (2) и НИИПМ (3).

НИИПМ высота и шаг гофров значительно больше, чем у труб БелНИИМиВХ и фирмы «Френкише». При синусоидальных гофрах и относительно больших S и h во впадинах имеет место значительное вихреобразование (рис. 35). При относительно малых S и h во впадинах создаются как бы застойные зоны и возмущение потока происходит в меньшей степени.

Шмитц [85] на основе отождествления геометрических параметров гофров с эквивалентной шероховатостью по Никурадзе предложил для расчета гофрированных труб применять формулу Прандтля—Кёллебрука

$$v = - \sqrt{8g} \lg \left(\frac{\Delta}{3,71D} + \frac{2,51}{D \sqrt{2gDi}} \right) \sqrt{Di} \quad (\text{II.58})$$

и определять высоту шероховатости по эмпирической зависимости

$$\Delta = 3,16 - 0,3h + 0,16h^2 - 0,5S + 0,02S^2. \quad (\text{II.59})$$

Уравнение (II.59) получено на основе математической

Т а б л и ц а 34

Автор	Тип трубы, завод-изготовитель	Внутренний диаметр D, мм	Размеры гофра, мм		Шероховатость Δ, мм		$\frac{S}{h}$
			высота h	шаг S	фактическая	расчетная по (П. 59)	
Бекен и Хейндрикс	—	50	2,00	3,5	2,13	1,69	1,75
	—	65	2,52	5,0	1,87	1,42	1,98
	—	100	3,51	6,0	3,10	1,77	1,71
Бекен	Опытный образец: C ₁ C ₂ C ₃ C ₄ C ₅	37,94	1,72	4,7	1,41	1,21	2,75
		37,43	1,93	4,6	1,49	1,30	2,38
		36,27	2,07	4,6	2,22	1,35	2,22
		48,85	2,71	4,5	2,17	1,68	1,66
		45,18	1,98	4,5	1,58	1,23	2,27
Бринк и Нильсон	Френкише изолиров унд метальваренверке, ФРГ	38,0	1,90	4,7	0,95*	1,29	2,36*
		38,9	2,00	5,2	0,80*	1,14	2,60*
		72,9	3,20	5,2	1,05*	1,78	1,63*
Эриксон		45,0	2,00	4,9	1,13*	1,23	2,45*
Фромм	Опытные образцы	91,8	3,30	5,2	1,10*	1,79	1,57*
		46,9	0,85	3,6	1,32	1,48	4,23
		58,4	0,85	3,6	1,53	1,48	4,24
		46,0	0,86	3,6	0,89	1,48	4,18
		61,0	0,86	3,6	0,95	1,48	4,18
Заксен и Карге	Хеглер, ФРГ	36,5	3,00	4,5	1,71	1,85	1,50
		43,6	3,00	4,7	2,23	1,79	1,57
		58,3	3,50	5,1	2,44	2,34	1,46
	СБФ, ФРГ	72,0	3,75	5,1	2,56	2,32	1,36
		38,0	2,25	4,8	1,08*	1,36	2,14*
		45,2	2,25	4,8	1,30*	1,36	2,14*
		59,0	2,70	5,2	1,40*	1,46	1,93*
Шмитц	ФЕБ Орбитапласт, ГДР	73,5	3,10	5,2	1,76	1,79	1,68
		45,5	5,10	9,7	3,43	2,85	1,90
		61,0	5,50	9,7	3,15	3,34	1,76
		61,0	5,00	10,0	2,86	2,66	2,00
		111,0	5,10	10,0	3,13	2,83	1,96
Митрахович	БелНИИМиВХ, БЗПИ	44,6	1,50	5,0	0,98	0,93	3,67
		45,4	1,50	6,0	1,37	0,79	4,00
		73,9	2,00	12,0	2,58	0,08	6,00
		91,0	4,00	8,2	1,26*	1,76	2,05*
		119,0	2,00	8,5	1,47	0,40	4,25
	НИИПМ, ВЗПИ	42,2	2,50	5,9	1,39*	1,61	2,36*
		46,7	3,10	8,2	1,17	1,16	2,64
		54,4	3,50	8,5	1,90	1,27	2,43
		65,0	3,70	9,0	1,81	1,31	2,43
		Вето, Финляндия	40,0	2,50	4,9	0,92*	1,44
50,0	2,50		4,9	1,09*	1,44	1,96*	

обработки результатов гидравлических исследований многих авторов. Однако оно не учитывает форму очертания гофров и диаметры труб, дает значительные погрешности. Фактические и расчетные величины шероховатости Δ , сопоставленные в табл. 34, дают среднее квадратическое отклонение $\pm 34\%$. Значит, это уравнение очень приближенно и в практических расчетах может давать недопустимые погрешности. В табл. 35 результаты расчетов по формулам (II.54), (II.56) и (II.58) сравнены с фактическими данными для труб, изготовления БЗПИ и ВЗПИ. Отклонение расчетных величин скорости, определенных по формуле Шмитца (II.59), от фактических достигает 22%. Поэтому применять ее для гидравлических расчетов труб, выпускаемых в СССР, не рекомендуется; можно использовать в предварительных расчетах при конструировании гофрированных труб.

Пока при разработке сортаментов гофрированных труб и назначении параметров S и h руководствуются больше интуитивными соображениями, чем обоснованными расчетами. Поэтому часто получаются весьма неудачные решения, и трубы обладают довольно малой пропускной способностью. Весьма важно установить, при каких величинах параметров гофров и их соотношении трубы обладают максимальной пропускной способностью. Это

Т а б л и ц а 35

Диаметр труб D , мм	Размер гофра в мм		Шероховатость Δ , мм по (II. 59)	Уклон i , %	Скорость воды v , см/сек			$\frac{v_{\phi} - v_1}{v_{\phi}} 100$, %	$\frac{v_{\phi} - v_2}{v_{\phi}} 100$, %
	шаг S	высота h			фактическая v_{ϕ}	по уравнению (II. 54) v_1	по уравнению (II. 56) v_2		
44,6	5,0	1,5	0,93	3,2	24,0	22,8	22,0	+5	+8,3
45,4	6,0	1,5	0,79	6,6	32,0	34,2	31,0	-6,9	+3,1
91,0	8,2	4,0	1,76	5,1	44,0	40,0	44,0	+9,1	0
119	8,5	2,0	0,40	2,6	40,8	47,5	37,0	-16,4	+7,5
42,2	5,9	2,5	1,61	7,9	32,0	32,0	30,7	-0,6	+4,1
46,7	8,2	3,1	1,16	5,4	26,0	29,7	26,7	-14,2	-2,7
54,4	8,5	3,5	1,27	3,0	20,0	24,4	22,2	-22,0	-11,0
65,0	9,0	3,7	1,31	4,1	30,0	32,5	29,1	-8,3	+3,0
Среднее								$\pm 9,2$	$\pm 4,4$

даст возможность конструировать наиболее экономичные трубы.

Величина шероховатости Δ в известной степени объективный показатель, характеризующий гидравлические сопротивления в трубах. Как видно из табл. 34, для одинаковых диаметров труб она колеблется в больших пределах и зависит от абсолютного значения S , h и их соотношения $\frac{S}{h}$. Притом для каждого диаметра существуют вполне определенные величины S , h и $\frac{S}{h}$, которые дают минимальное значение Δ .

Из теории прочности гофрированных труб (см. главу III) известно, что благоприятным, дающим максимальную прочность при заданном расходе материала, соотношением между шагом гофра и высотой является $\frac{S}{h} \approx 1,5$. Исходя из указанных предпосылок, по данным табл. 34, отмеченным звездочкой, построены графики $h=f(D)$ и $\frac{S}{h}=\varphi(D)$ (рис. 40). Выбраны те конструкции труб, которые имеют $0,8 \leq \Delta \leq 1,4$ и $1,5 \leq \frac{S}{h} \leq 2,45$, т. е. наиболее благоприятные в гидравлическом и прочностном отношении.

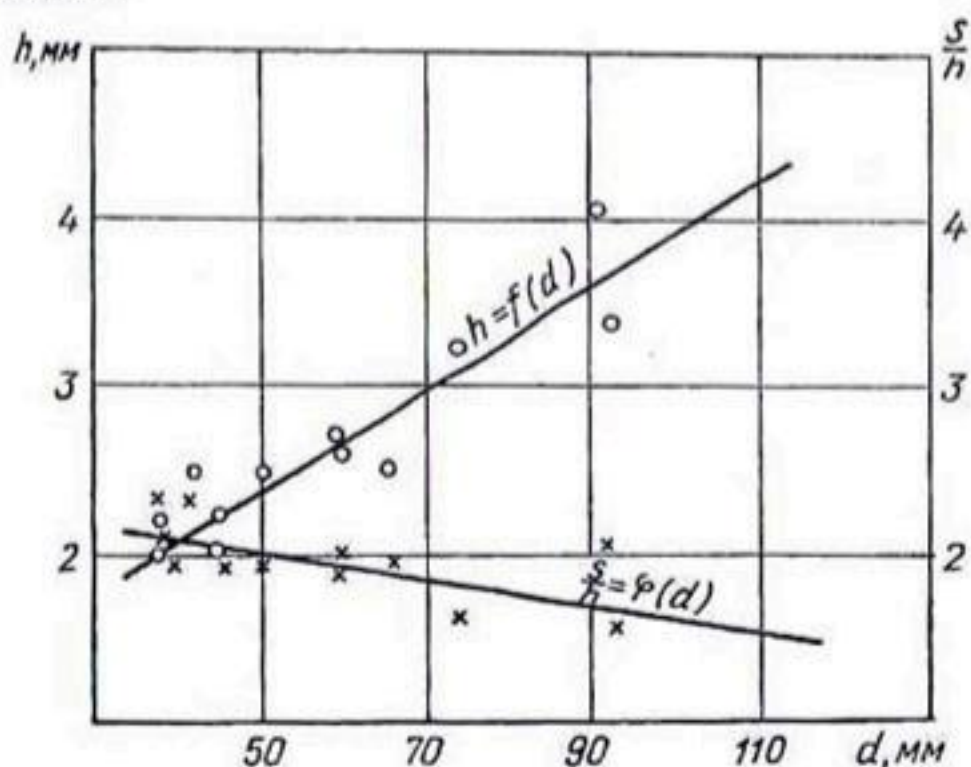


Рис. 40. Зависимости $h=f(D)$ и $\frac{S}{h}=\varphi(D)$ для гофрированных дренажных труб из полимерных материалов.

Как видно из рис. 40, зависимости $h=f(D)$ и $\frac{S}{h}=\varphi(D)$ с достаточной степенью точности аппроксимируются прямыми линиями, т. е. существует функциональная связь между h и D , а также $\frac{S}{h}$ и D . После соответствующей математической обработки экспериментальных данных получено

$$h = 0,7 + 0,0322 D, \text{ [мм]}; \quad (\text{II.60})$$

$$\frac{S}{h} = 2,45 - 0,00875 D; \quad (\text{II.61})$$

$$S = 1,715 + 0,0728 D - 0,000282 D^2. \quad (\text{II.62})$$

$$35 < D < 125.$$

Уравнения (II.60—62) позволяют определить наиболее рациональные параметры гофрированных труб. По ним и рекомендуется проводить их конструирование при разработке новых сортов. В табл. 36 представлены вычисленные по (II.60—62) наиболее благоприятные с точки зрения гидравлики величины S и h для труб различных диаметров. При этом следует иметь в виду, что гофры их должны быть очерчены по синусоиде, параболическим дугам или близкой к ним кривой.

Т а б л и ц а 36

Внутренний диаметр труб D , мм	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Высота гофра h , мм . . .	1,99	2,31	2,63	2,95	3,28	3,60	3,92	4,24	4,56
Шаг гофра S , мм . . .	4,18	4,64	5,06	5,42	5,74	5,98	6,17	6,31	6,58
$\frac{S}{h}$	2,10	2,01	1,92	1,84	1,75	1,66	1,57	1,49	1,45

§ 7. Пропускная способность пластмассовых и гончарных дренажных труб

Гладкостенные трубы из полимерных материалов имеют более ровную, чем гончарные, внутреннюю поверхность, материал не смачивается водой, а число стыковых соединений сводится к минимуму и нередко вообще отсутствует. Все эти факторы приводят к тому, что пропускная способность их значительно выше гончарных. Что касается сопоставления гофрированных труб с гон-

чарными, то высказывания отдельных авторов разноречивы. По сообщению Кунтце [76], шероховатость гофрированных труб равноценна гончарным. Бринк и Нильсон [63], сравнивая полученную ими формулу для гофрированных труб из ПВХ (II.22) с формулой Ярнелла—Вудворда (II.10) при $K=93$, утверждают, что пропускная способность их ниже, чем гончарных и бетонных. В данном случае разница при всех уклонах составляет около 10%. Но нормами *DIN 1185*, числовой коэффициент в формуле (II.10) предусмотрен равным 75 и 65. По мнению Ф. Каминского [77], при механизированной закладке дренажа и современном качестве гончарных трубок в расчетах следует принимать только $K=65$. В табл. 37 приведены сравнительные данные пропускной способности пластмассовых и гончарных дренажных труб диаметром 50 мм, подсчитанные по наиболее распространенным формулам:

1) Шези, имеющей большое распространение при расчетах дренажа в СССР (коэффициент C определен по формуле Базена);

2) Ярнелла—Вудворда (при $K=75$), полученной для труб диаметром более 10 см и широко распространенной за рубежом;

3) Б. И. Блажиса, справедливой для труб хорошего качества при очень тщательной их укладке.

Т а б л и ц а 37

Уклон дрена i	Расход q (л/сек) при $D=50$ мм для труб				
	гончарных			пластмассовых	
	по формуле Шези	по формуле Ярнелла-Вудворда при $K=75$	по формуле Блажиса	гофрированных по (II. 54)	гладкостенных по (II. 52)
0,001	0,17	0,25	0,27	0,27	0,31
0,002	0,25	0,34	0,37	0,38	0,47
0,003	0,30	0,43	0,47	0,47	0,58
0,004	0,35	0,50	0,56	0,55	0,70
0,005	0,39	0,56	0,62	0,61	0,78
0,006	0,42	0,61	0,70	0,66	0,87
0,008	0,50	0,70	0,81	0,76	1,02
0,010	0,56	0,79	0,92	0,85	1,16
0,020	0,78	1,11	1,35	1,20	1,73

Как видно из таблицы, пропускная способность гофрированных труб выше, чем гончарных примерно на 50% при подсчетах по формуле Шези, и на 7—8% при расчетах по формуле Ярнелла—Вудворда.

Если сравнить производительность гофрированных труб (конструкции БелНИИМиВХ) с гончарными, для которых расчет проведен по формуле Б. И. Блажиса, то при $i \leq 0,005$ (наиболее распространенные уклоны в зоне осушения) они практически равноценны. При $i > 0,005$ пропускная способность гофрированных труб несколько ниже гончарных, что вызывается все возрастающей турбулентизацией тока с увеличением скорости движения жидкости.

Что касается сравнения пропускной способности гофрированных труб с гладкостенными, то здесь уже заметна существенная разница, которая увеличивается по мере возрастания уклона. Так, если при уклоне 0,001 гладкостенная труба $D=50$ мм пропускает расход только на 13% больший, чем гофрированная, то при $i=0,01$ производительность ее уже на 40% выше. Гладкостенные трубы на 80—120% производительнее гончарных при расчете по формуле Шези и на 30—50% при расчете по формуле Ярнелла—Вудворда (при $K=75$).

§ 8. Распределение скоростей в полиэтиленовых дренажных трубах

Гидравлические сопротивления в трубопроводах непосредственно связаны с закономерностью распределения скоростей по сечению потока. Эпюры осредненных скоростей обычно строят по формуле

$$\frac{u_{\max} - u}{v_d} = \frac{2,3}{\kappa} \lg \frac{r}{y}, \quad (\text{II.63})$$

где $u_{\max}$ — максимальная скорость;

u — осредненная скорость в точке;

v_d — динамическая скорость $v_d = \frac{v}{\sqrt{\frac{8}{\lambda}}}$;

y — расстояние от данной точки до стенки трубы;

r — внутренний радиус трубы;

κ — «универсальная» постоянная, по Никурадзе $\kappa=0,4$.

Относительный дефицит средней скорости от максимальной определяют выражением

$$\frac{u_{\max} - v_{\text{ср}}}{v_{\Delta}} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{r}{y_{\text{ср}}} = \frac{1,5}{\kappa} = \beta. \quad (\text{II.64})$$

По Прандтлю β является «постоянной дефицита средней скорости» и равна 4,07; из опытов Никурадзе $\beta=3,75$. Однако на практике κ и β не являются «универсальными постоянными». Установление их числовых значений необходимо для построения эпюр скоростей и определения коэффициента сопротивления λ .

Распределение скоростей в гофрированной дренажной трубе из ПВХ диаметром 91 и гладкостенной $D=97$ мм графически отражено на рис. 41.

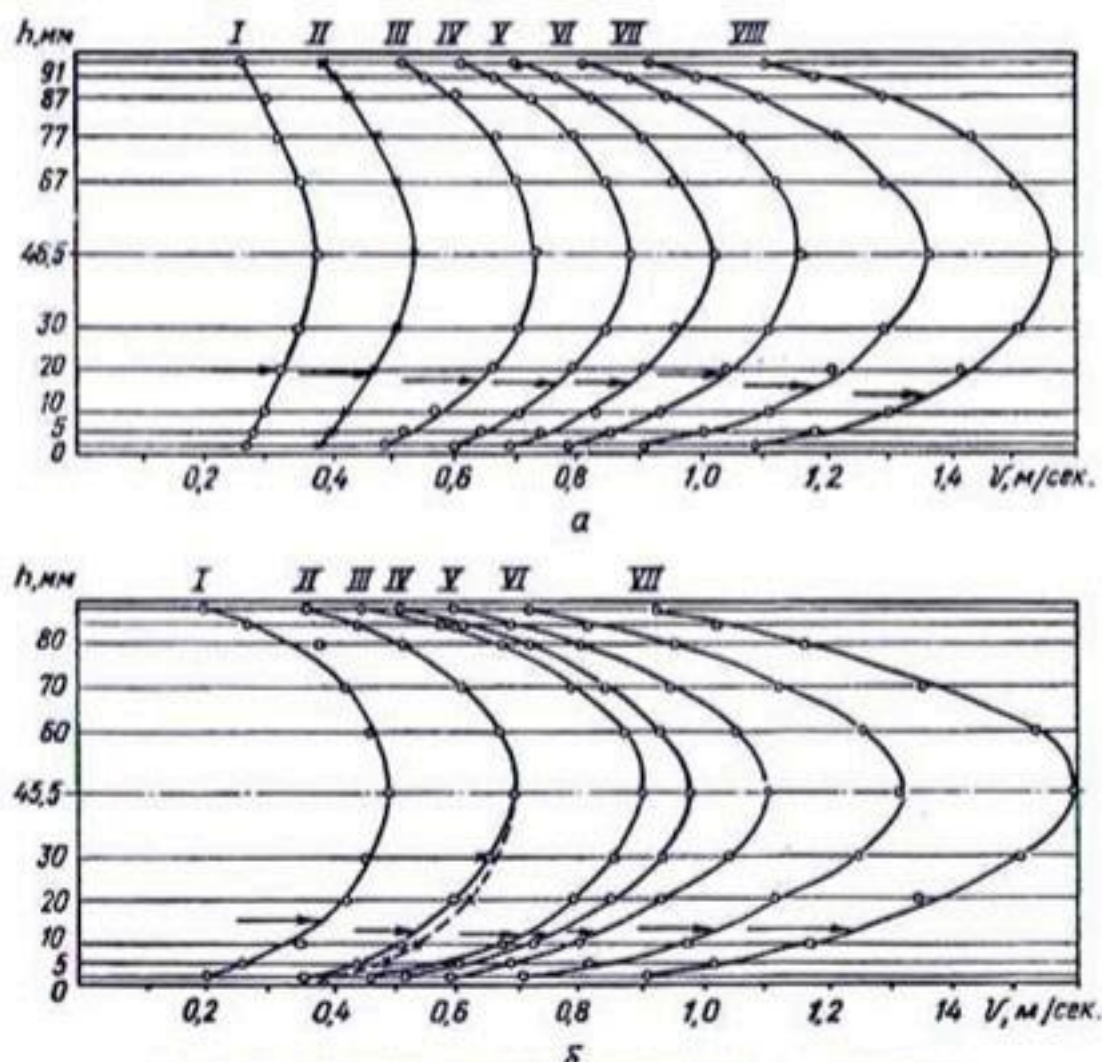


Рис. 41. Распределение скоростей в трубах:

a — гладкостенной, $D = 97$ мм: I — $v_{\text{ср}} = 0,34$ м/сек; II — $v_{\text{ср}} = 0,48$ м/сек; III — $v_{\text{ср}} = 0,64$ м/сек; IV — $v_{\text{ср}} = 0,77$ м/сек; V — $v_{\text{ср}} = 0,89$ м/сек; VI — $v_{\text{ср}} = 1,07$ м/сек; VII — $v_{\text{ср}} = 1,18$ м/сек; VIII — $v_{\text{ср}} = 1,36$ м/сек; *б* — гофрированной, $D = 91$ мм: I — $v_{\text{ср}} = 0,38$ м/сек; II — $v_{\text{ср}} = 0,54$ м/сек; III — $v_{\text{ср}} = 0,7$ м/сек; IV — $v_{\text{ср}} = 0,75$ м/сек; V — $v_{\text{ср}} = 0,85$ м/сек; VI — $v_{\text{ср}} = 1,03$ м/сек; VII — $v_{\text{ср}} = 1,23$ м/сек.

Кривые, огибающие поля скоростей, представляют собой параболы; причем в гофрированных трубах эпюры имеют более вытянутую форму. Местоположение средней скорости $v_{\text{ср}}$ в гладкостенных трубах равно $0,27 r$, для гофрированных $v_{\text{ср}} = (0,20—0,27)r$. Величина отношения средней скорости потока к максимальной при установившемся движении не является константой и изменяется для гладкостенных труб из ПВХ в пределах $0,80—0,89$, гофрированных $\frac{v_{\text{ср}}}{u_{\text{max}}} = 0,72—0,80$. Величина «универсальной» постоянной $\kappa_{\text{ср}}$ для гофрированных труб равна $0,37$; в гладкостенных $\kappa_{\text{ср}} = 0,42$. Распределение осредненных скоростей по сечению потока в гладкостенных полиэтиленовых трубах выражается зависимостью

$$\frac{u_{\text{max}} - u}{v_d} = 5,5 \lg \frac{r}{y}, \quad (\text{II.65})$$

в гофрированных

$$\frac{u_{\text{max}} - u}{v_d} = 6,21 \lg \frac{r}{y}. \quad (\text{II.66})$$

Дефицит средней скорости (β) в гладкостенных трубах равен $3,35$, в гофрированных диаметром 119 мм $\beta = 4,1$; $D = 91 \text{ мм}$ — $\beta = 4,0$; $D = 73,9 \text{ мм}$ — $\beta = 4,5$. По исследованиям А. И. Митраховича, связь между распределением скоростей и коэффициентом сопротивления λ выражается зависимостями:

гладкостенные полиэтиленовые трубы

$$\frac{u_{\text{max}}}{v_{\text{ср}}} = 1 + 1,17 \sqrt{\lambda}; \quad (\text{II.67})$$

гофрированные

$$D = 119 \text{ мм} \quad \frac{u_{\text{max}}}{v_{\text{ср}}} = 1 + 1,44 \sqrt{\lambda}; \quad (\text{II.68})$$

$$D = 91 \text{ мм} \quad \frac{u_{\text{max}}}{v_{\text{ср}}} = 1 + 1,42 \sqrt{\lambda}; \quad (\text{II.69})$$

$$D = 73,9 \text{ мм} \quad \frac{u_{\text{max}}}{v_{\text{ср}}} = 1 + 1,56 \sqrt{\lambda}. \quad (\text{II.70})$$

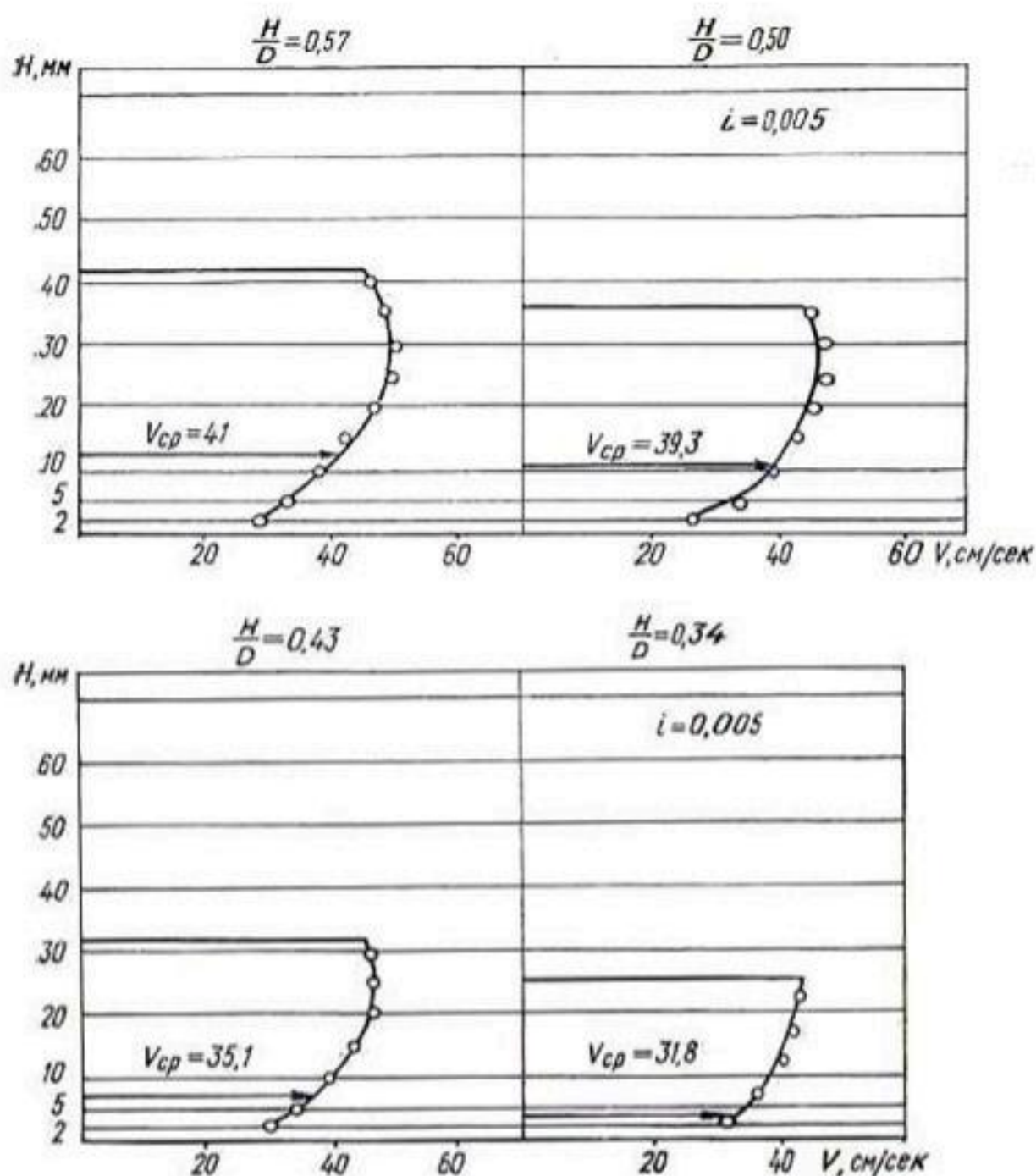


Рис. 42. Распределение скоростей в гофрированной полиэтиленовой трубе $D=73,9$ мм при частичном наполнении.

По уравнениям (II.67—70) можно с удовлетворительной точностью определять значения коэффициента λ в квадратичной области или близкой к ней.

Распределение скоростей в трубах зависит не только от уклона дренажных линий, но и от степени наполнения сечения. Значительный период времени дрены работают при частичном наполнении. При этом скорость движения жидкости уменьшается и возникает опасность отложения в них частиц грунта. Общеизвестных зависимостей, обоснованно отображающих закономерности распределения осредненных продольных скоростей по сечению потока при частичном наполнении, пока нет. Кривые скорости

при наполнении $H \leq 0,9D$ представляют собой параболы с горизонтальной осью, соответствующей максимальной скорости (рис. 42). При увеличении степени наполнения сечения скорости потока у дна сначала быстро увеличиваются, а затем их возрастание происходит значительно медленнее. По абсолютному значению наибольшие донные скорости наблюдаются в гладкостенных трубах. При всех степенях наполнения донные скорости в гладкостенных трубах на 50—60% больше, чем в гофрированных и гончарных. В последних при наполнении $H \leq 0,70 D$ они практически одинаковы. Диапазон изменения донных скоростей в полиэтиленовых трубах несколько уже, чем в гончарных. Так, при $i=0,005$ у гофрированных труб $D=73,9$ мм донные скорости изменяются в пределах 0,29—0,33, а в гончарных $D=72$ мм $v_{\text{дон}}=0,26—0,43$ м/сек. При безнапорном режиме местоположение средней скорости меняется по вертикали в зависимости от степени наполнения.

§ 9. Гидравлические расчеты труб

В расчетах пластмассовых дренажных труб движение воды принимается безнапорным при сплошь заполненном сечении. Соблюдение проектных уклонов, качественное выполнение строительных работ и достаточные уклоны местности позволяют внутренний диаметр пластмассовых труб дрен-осушителей назначить следующий: гладкостенных 38—42, гофрированных — 40—50 мм. В пылеватых и сильно железистых грунтах при отсутствии надежной защиты от заиления, а также в случае большого притока грунтовых или поверхностных вод их необходимо увеличивать на один порядок по сортаменту или принимать по расчету. Диаметры труб пластмассовых коллекторов должны назначаться по расчету.

Скорость течения воды в трубах при пропуске расчетного расхода должна быть в пределах 0,3—1,2 м/сек. При отсутствии опасности заиления допускаются скорости 0,2 м/сек. В пластмассовых коллекторах, трубы которых соединены с помощью муфт или в раструб, могут быть допущены скорости более 1,2 м/сек. По мнению некоторых исследователей, они могут достигать 2—3 м/сек. При наличии в почве большого количества железистых соединений (более 5 мг/л) скорости воды в трубах должны быть не менее 0,3 м/сек. Минимально допустимые

скорости воды в дренажных трубах зависят от категории грунта, в котором они уложены. В табл. 38 и 39 даны минимальные уклоны и транспортирующие скорости воды в гладкостенных и гофрированных трубах, укладываемых в различных грунтах. Для гофрированных труб необходимы несколько большие уклоны, чем для гладкостенных. По исследованиям Н. Бринка и Б. Джонсона [64], при одинаковых скоростях движения воды транспортирующая (наносы) способность гофрированных труб больше, чем гладкостенных.

При расчетах труб, поставляемых в бухтах, потери напора в стыковых соединениях не учитываются. При укладке их в хлыстах сочленение делают с помощью муфт и в раструб. В этом случае гидравлические сопротивления учитываются коэффициентом местного сопротивления $\eta = 0,05$ (муфтовые сочленения) и $0,1 \leq \eta \leq 0,2$ (раструбные). Дополнительные сопротивления существенно зависят от качества сочленений.

Диаметры труб коллекторов, а при большом притоке грунтовых вод и дрен-осушителей, определяют гидравлическим расчетом, исходя из принятых величин дренажного стока, запроектированного уклона и площади водосбора, обслуживаемого данным коллектором (дреной). Расчетный расход воды, который должен отвести коллектор, находят по формуле

$$q = q_0 F, \quad (\text{II.71})$$

где q_0 — модуль дренажного стока, л/сек.га;

F — площадь водосбора, га.

Расчетные модули дренажного стока берут из нормативов, существующих для гончарного дренажа [9]. Внутренние (расчетные) диаметры принимают по сортаменту (приложения II, III, VI, VII—IX) или для гладкостенных труб рассчитывают по формуле:

$$D_p = 0,97 \frac{2 D_{\text{нар}} + \Delta d_n - 4 t_c - 2 \Delta t_c}{2}; \quad (\text{II.72})$$

для гофрированных

$$D_p = D_{\text{нар}} - 2(h + t_c), \quad (\text{II.73})$$

где t_c — толщина стенки трубы;

Δt_c — допуск на толщину стенки по МРТУ;

Δd_n — допуск на наружный диаметр.

Т а б л и ц а 38

Грунт	Скорость v , м/сек; уклон i , %	Диаметр труб мм, D и ($D_{нар}$)					
		38,4 (42)	46,0 (50)	58,2 (63)	71,1 (75)	85,7 (90)	104,6 (110)

Трубы гладкостенные

Глины, суглинки, глубокий торф с низким содержанием железа	v	0,18	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30
	i	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
Мелкозернистый песок, супеси и легкие суглинки	v	0,25	0,27	0,27	0,29	0,33	0,39
	i	3,0	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0
Среднезернистый песок, торф с высоким содержанием железа	v	0,33	0,35	0,35	0,37	0,42	0,49
	i	5,0	4,5	3,5	3,0	3,0	3,0

Т а б л и ц а 39

Грунты	Скорость v , м/сек; уклон i , %	Диаметр труб, мм, D и ($D_{нар}$)			
		45,4 (50)	73,9 (80)	91,0 (100)	119,0 (125)

Трубы гофрированные

Глины, суглинки, глубокий торф с низким содержанием железа	v	0,18	0,24	0,27	0,32
	i	2,0	2,0	2,0	2,0
Мелкозернистый песок, супеси, легкие суглинки	v	0,24	0,27	0,30	0,36
	i	3,5	2,5	2,5	2,5
Среднезернистый песок, торф с высоким содержанием железа	v	0,30	0,32	0,37	0,44
	i	6,0	3,5	3,5	3,5

При гидравлических расчетах гладкостенных дренажных труб следует применять формулы (II.52), (II.53); гофрированных БЗПИ — (II.54), (II.55) и ВЗПИ — (II.56), (II.57).

Поскольку пластмассовые трубы нормализуют по наружному диаметру, часто возникают недоразумения в вопросах сравнения их пропускной способности и взаимозаменяемости. Ни в коем случае нельзя, например, заменять гофрированные трубы разных конструкций или гладкостенные гофрированными только по их наружному диаметру. Неправильно также заменять трубы разных конструкций, исходя из сравнения только их внутреннего диаметра. При выборе конструкций труб следует учитывать пропускную способность их и стоимость. Как правило, гофрированные трубы благодаря существенно меньшему весу по сравнению с гладкостенными более экономичны,

несмотря на меньшую пропускную способность. Однако может оказаться, что применение гофрированных труб взамен гладкостенных вызовет удорожание стоимости дренажа. Доказательством указанного положения являются приводимые ниже расчеты, в которых с целью сопоставления пластмассовых труб различных конструкций определено потребное количество их и стоимость на 1 га осушаемой площади. В качестве исходных данных приняты средние для условий Белоруссии показатели: расстояние между дренами $B=30$ м, уклон их $i=0,002$, модуль дренажного стока $q_0=0,6$ л/сек.га. Диаметры труб взяты из соответствующих сортаментов, пропускаемый ими расход определен по формулам (II.52), (II.54) и (II.56). Площадь, с которой труба данного диаметра может отвести дренированные воды, определялась по формуле

$$F = \frac{q}{q_0}, \quad [\text{га}].$$

В табл. 40 приведены результаты расчетов для гофрированных и гладкостенных труб из ПВХ, выпускаемых в СССР. Длина дрен-осушителей L определялась по расчету. При этом принимали во внимание, что сток с площади, осушаемой одной дренажной трубой, не может быть больше ее пропускной способности q_d при полном заполнении и заданных D и i , т. е. $q_0LB \leq q_d$. Места смены диаметров коллекторных труб определяли из тех же соображений по формуле

$$nq_0LB \leq q_k,$$

где n — число дрен-осушителей, расположенных выше данного сечения коллектора;

q_k — пропускная способность коллекторной трубы.

Расположение сети в плане при одностороннем и двухстороннем впуске дрен в коллекторы, места смены диаметров труб и их длина даны на рис. 43.

Расчеты показывают (табл. 40), что гофрированные трубы конструкции БелНИИМиВХ намного экономичнее гладкостенных. Разница в стоимости на 1 га составляет 55 руб. Применение же гофрированных труб конструкции НИИПМ взамен гладкостенных приводит к увеличению стоимости на 18,6, а взамен гофрированных БелНИИМиВХ — на 73,6 руб/га.

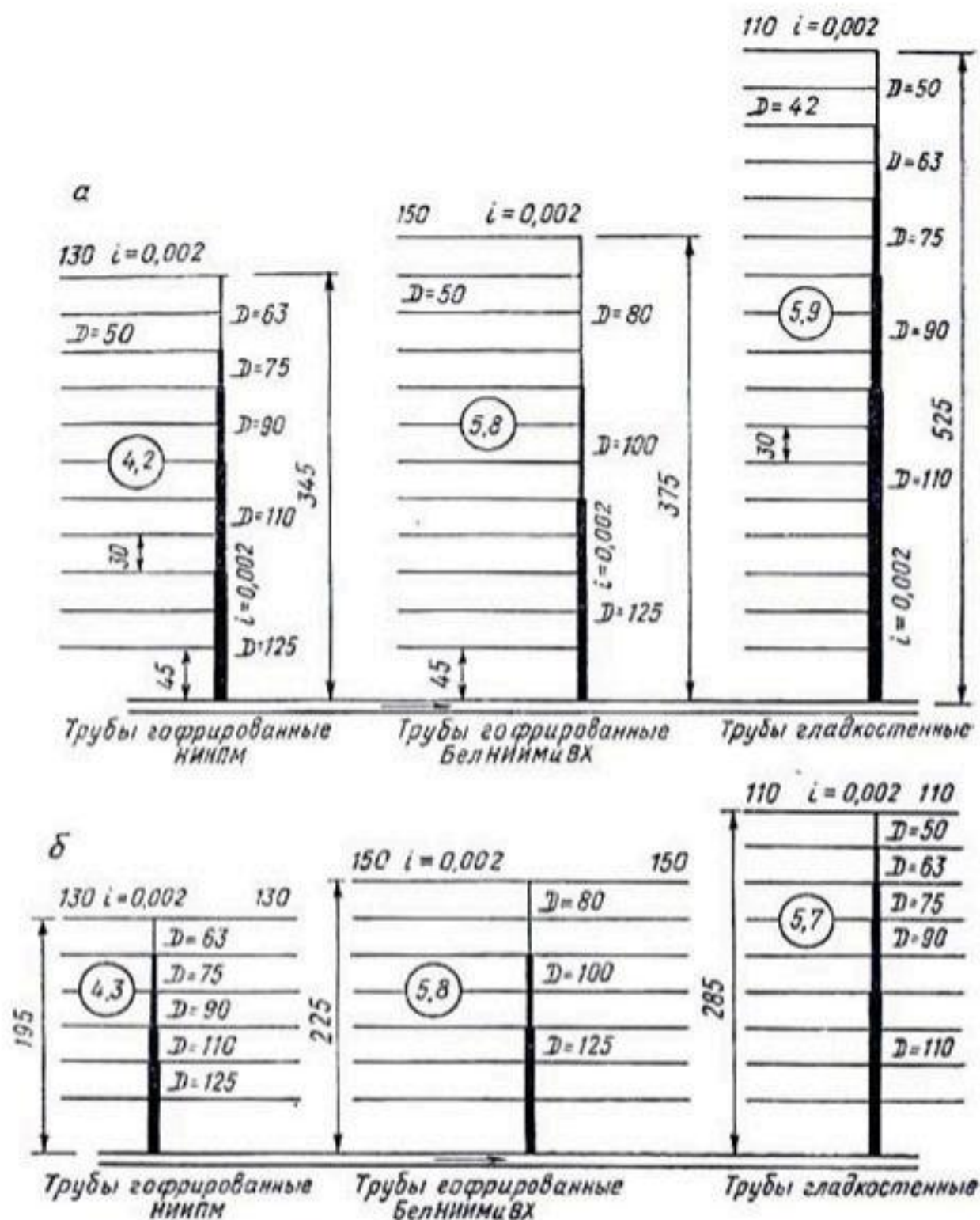


Рис. 43. Расположение дренажной сети из пластмассовых труб при одностороннем (а) и двухстороннем (б) подключении дрен к коллекторам.

Гофрированные трубы БелНИИМиВХ, обладая более высокой пропускной способностью, чем трубы НИИПМ, дают возможность осушать большие площади. Для отвода воды с одинаковой площади требуемые диаметры труб различных конструкций существенно отличаются. Так, при площади осушения 3 га устьевые коллекторные трубы должны иметь следующий наружный диаметр: глад-

Конструкция труб, тип, завод-изготовитель	Диаметр, мм		Возможная площадь осушения, га	Потребное количество труб, м	Стоимость, руб.		Общая площадь осушения, га	Стоимость труб, руб./га
	наружный D _н	внутренний D			1 пог. м трубы	общая		
Гофрированные БелНИИМиВХ изготовления БЗПИ	50	45,4	0,45	1800	0,204	368		
	80	73,9	1,6	120	0,470	56		
	100	93,0	3,0	90	0,518	47		
	125	119,0	5,7	165	0,650	107		
						578	5,85	98,2
Гофрированные НИИПМ изготовления ВЗПИ	50	42,2	0,35	1320	0,305	403		
	63	54,4	0,67	60	0,419	25		
	75	65,0	1,10	30	0,583	17		
	90	78,0	1,80	60	0,765	46		
	110	95,0	3,03	90	1,050	94		
	125	107,8	4,2	105	1,300	137		
						722	4,2	171,8
Гладкостенные (ПВП, тип Л)	40	36,8	0,33	1870	0,220	412		
	50	46,0	0,60	60	0,310	19		
	63	58,2	1,15	60	0,450	27		
	75	71,1	2,00	60	0,640	38		
	90	85,7	3,02	90	0,960	86		
	110	104,6	5,94	225	1,410	360		
						942	5,9	153,2

Примечание. Стоимость труб принята по прейскуранту № 05—03 и дополнению к нему № 25 от 14 октября 1970 г.

костенные — 90, гофрированные БелНИИМиВХ — 100 и гофрированные НИИПМ — 110 мм. Расчеты, выполненные для двухстороннего подключения дрен к коллекторам, показали, что стоимость труб на 1 га составляет: гофрированных БелНИИМиВХ — 82, гладкостенных — 117 и гофрированных НИИПМ — 137 руб. Сравнение общей стоимости труб на 1 га осушаемой площади при одно- и двухстороннем впуске дрен в коллекторы показывает, что предпочтение следует отдавать второму способу. Экономия может составить более 15%.

§ 1. Условия работы и нагрузки

В зоне избыточного увлажнения пластмассовый дренаж устраивают на минеральных, периодически переувлажняемых почвах и почвах органического происхождения: низинных, переходных и верховых торфяниках. Кислотность осушаемых почвогрунтов рН колеблется от 3,5 до 7,5. Вследствие жизнедеятельности микроорганизмов в почвенном воздухе повышено содержание углекислоты, а на болотах в нем часто содержится сероводород, метан и др. В состав осушаемых почв и почвенных растворов входят многие химические элементы и соединения. Дренажные трубы работают в условиях переменной влажности и значительных колебаний температур, могут многократно подвергаться замораживанию и оттаиванию. В окружающем грунте всегда имеются почвенные кислоты и щелочи, а также значительное количество различных представителей микрофлоры, не исключено присутствие простейших и грызунов. При транспортировке и укладке труб в траншеи возникают ударные, изгибающие и растягивающие нагрузки. В период эксплуатации дрены воспринимают статическое давление грунта и периодические нагрузки от проходящих по поверхности почвы машин.

Совместное воздействие указанных факторов создает довольно жесткие условия работы труб, а многообразное взаимосочетание их делает задачу прогнозирования прочности и долговечности дренажа из полимерных материалов весьма сложной. Решение ее связано, прежде всего, с необходимостью проведения длительных комплексных экспериментов, преимущественно в натурных условиях.

Деформации труб и величина воспринимаемых ими нагрузок в значительной степени определяются физическими и прочностными свойствами грунта, в котором они уложены: углом внутреннего трения ϕ_0 о стенки траншей ϕ_0 , сцеплением c_0 и модулем деформации $E_{гр}$. Чем выше эти показатели, тем меньше сплющиваются трубы. Из всех встречающихся в осушении грунтов минимальными прочностными свойствами обладают торфяники. Поэтому деформации труб, заложенных в торфе, максимальные. Для минеральных грунтов параметры

φ_0 , c_0 и $E_{гр}$ являются константами, числовые значения их установлены многочисленными экспериментами. Для торфяных грунтов эти характеристики еще слабо изучены, не являются константами, а изменяются во времени в связи с уплотнением торфа, его минерализацией и разложением.

По исследованиям П. А. Дрозда [12], модуль деформации низинного торфа зависит от его физических характеристик, интенсивности нагрузки, а также времени ее действия и определяется зависимостью

$$E_{гр} = \frac{E_{1, p_0}}{t^n \sqrt{\frac{p_0}{p} 10^{b(p-p_0)}}}, \quad (III.1)$$

где E_{1, p_0} — приведенный модуль деформации, зависящий от плотности торфа (δ_1) и определяемый по графику, построенному на основе экспериментальных данных;

t — длительность действия нагрузки;

p — расчетная нагрузка;

p_0 — предел пропорциональности.

$$p_0 = \frac{0,434}{b};$$

b — коэффициент, характеризующий свойства торфа

$$b = 0,19 + 13 \delta_1;$$

n — коэффициент, характеризующий развитие деформаций во времени (ползучесть торфа)

$$n = 0,016 + 0,368 \delta_1;$$

δ_1 — объемный вес твердого вещества торфа (плотность).

Известно, что

$$E_{гр} = \frac{P}{\lambda_0} = \frac{Pl}{\Delta l}, \quad (III.2)$$

где P — нагрузка;

l — мощность сжимаемого слоя;

Δl — осадка.

Для случая дренажа, укладываемого в торфе, с незначительными допущениями можно принять

$$\begin{aligned} P &= \gamma h_0; \\ l &= H_0 - h_0; \\ \Delta l &= S_d, \end{aligned} \quad (\text{III.3})$$

где γ — объемный вес грунта;
 h_0 — глубина закладки дрен;
 H_0 — мощность торфа;
 S_d — осадка (уплотнение) торфа ниже дна дрены.
 По нашим исследованиям [27], осадка торфа на глубине закладки дрен выражается зависимостью

$$S_d = A_1 (H_0 - h_0) \{1 - \exp[-h_0(c + dt)]\}, \quad (\text{III.4})$$

где t — длительность осушения, лет;
 δ_1 — объемный вес твердого вещества, г/см³;
 c — коэффициент скорости осадка в первом году осушения, 1/м;
 d — то же, в последующие годы, 1/м.год;
 A_1 — коэффициент плотности торфа, определяемый формулой Ю. Остроменского [81]

$$A_1 = \frac{2(1600 - \delta_1)}{0,18 \delta_1^2}. \quad (\text{III.5})$$

Его можно определять также по графику рис. 44 при известной величине влажности W и степени разложения торфа R [32].

Скорость осадки во многом зависит от зональных климатических факторов, поэтому коэффициенты c и d имеют региональное значение. Для условий Белоруссии, Прибалтики и близких к ним районов $c=0,021$ [1/м]; $d=0,005$ [1/м.год]. Поставив значения (III.3) в (III.2) и учтя (III.4), получим

$$E_{\text{гр}} = \frac{\gamma h_0}{A_1 \{1 - \exp[-h_0(c + dt)]\}}. \quad (\text{III.6})$$

Итак, для торфяных грунтов модуль деформации не является константой. Этот показатель нужно понимать не как «модуль» в обычном смысле, а как расчетную характеристику. В прочностных расчетах пластмассовых

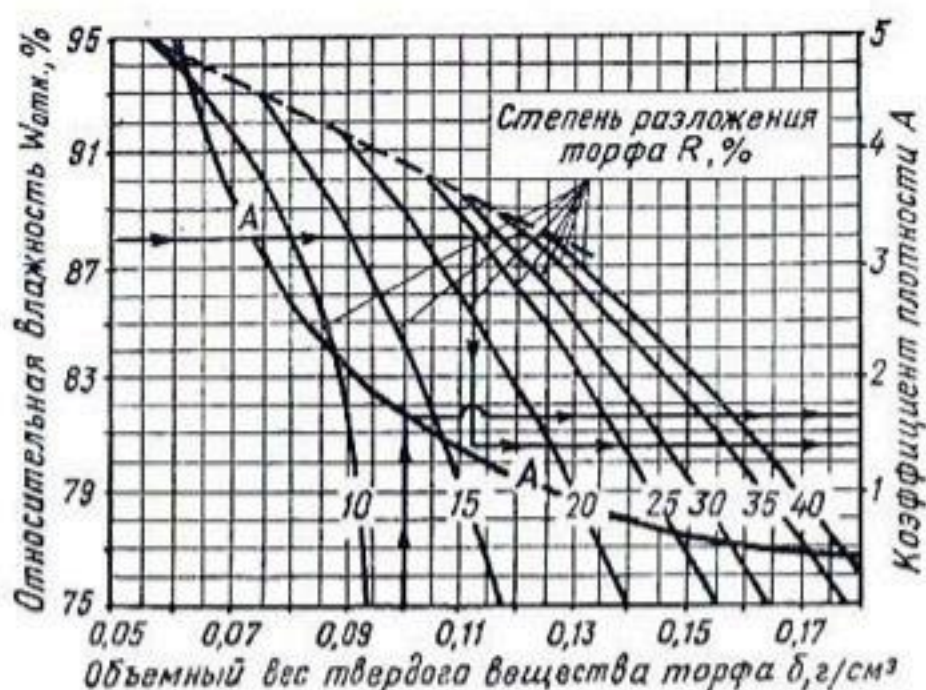


Рис. 44. Номограмма для определения коэффициента плотности торфа A_1 .

труб параметр t в уравнении (III.6) принимать равным сроку капитальности дренажа (30—50 лет). Если для минеральных грунтов $E_{гр} = 40—200 \text{ кг/см}^2$, то для торфа в зависимости от его плотности и длительности действия нагрузки (длительности осушения) по уравнению (III.6) $E_{гр} = 0,5—1,8 \text{ кг/см}^2$.

Величина нагрузки на уложенные в грунте трубы в значительной степени зависит от их жесткости. Труба считается «жесткой», если деформируемость ее меньше деформируемости равного по величине цилиндра грунта. При обратном соотношении труба характеризуется как «гибкая». В качестве критерия Г. К. Клейн [21] для гладкостенных труб предложил следующую зависимость

$$\frac{E_t}{E_{гр}} \left(\frac{\delta}{r_{ср}} \right)^3 \geq 1, \quad (\text{III.7})$$

где E_t — модуль упругости материала трубы, $E_t = f(t)$;
 δ — толщина ее стенки;
 $r_{ср}$ — средний радиус.

Для труб с гофрированными стенками таким критерием является неравенство

$$\frac{12 E_t I_{гоф}}{E_{гр} r_{ср}^3 S} \geq 1, \quad (\text{III.7}')$$

где $I_{\text{гоф}} = f(h, \delta, S)$ — момент инерции продольного сечения гофра;
 S — шаг гофра;
 h — его высота.

Трубу рассчитывают как «жесткую», если неравенства (III.7) или (III.7') окажутся больше 1. Для ПВХ модуль упругости материала — величина переменная, и при длительности действия нагрузки 30 лет $E_1 = 2 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$. Трубы типа Л и СЛ (приложение VII) из ПВХ, уложенные в минеральных грунтах и плотных торфяниках, следует рассчитывать как гибкие. Однако в малоплотном торфе их можно характеризовать и как «жесткие». Например, при $E_{\text{гр}} = 1,0 \text{ кг/см}^2$, $E_1 = 2 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$, диаметре гладкостенной трубы 40 и толщине стенки 1,6 мм по уравнению (III.7).

$$\frac{2000}{1} \left(\frac{0,16}{2,0} \right)^3 = 1,24 > 1,0.$$

В данном случае трубу следует считать жесткой. Осадка ее шельги будет меньше осадки соседнего грунта, и по гипотезе А. Марстона над трубой с обеих сторон

внешнего диаметра образуются вертикальные поверхности скольжения. На них возникнут направленные вниз силы трения (рис. 45), которые нагрузят трубу дополнительно. У гибких труб осадка щельги больше осадки грунта, и силы трения действуют разгружающе. При укладке труб в открытые траншеи с последующей их за-

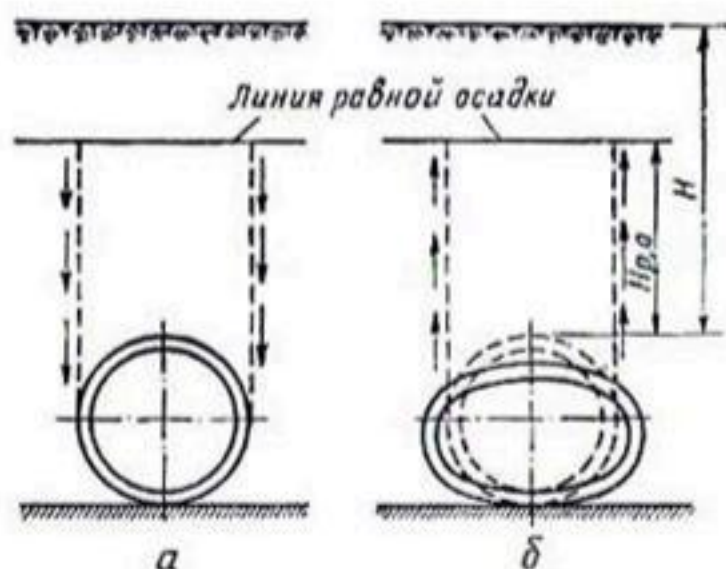


Рис. 45. Схема работы в насыпи:
а — «жесткой» трубы; б — «гибкой» трубы.

сыпкой всегда имеется разница в свойствах неповрежденного грунта, слагающего стенки траншеи, и того, который был из нее вынут и обратно засыпан. Неизбежно происходит уплотнение засыпки, и между ней и стенками траншеи возникают силы трения, которые воспринимают

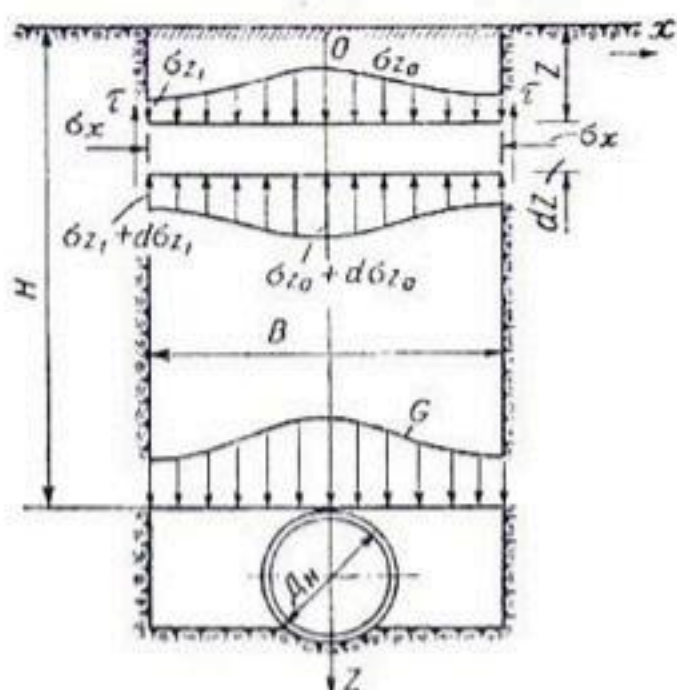


Рис. 46. Расчетная схема.

мерно. Однако многочисленные эксперименты и теория предельного равновесия показывают, что указанные предпосылки расчета грунтовой нагрузки на трубы не соответствуют действительности.

По Л. М. Емельянову [15], вертикальные напряжения в засыпке определяются уравнением

$$\sigma_z = F(z) \varphi(x), \quad (\text{III.8})$$

а нагрузка по ширине траншеи распределяется по параболическому закону (рис. 46).

$$\varphi(x) = \sigma_{z_0} \left(1 - 4c_1 \frac{x^2}{B^2} \right), \quad (\text{III.9})$$

где c_1 — коэффициент, определяемый из условия, что материал засыпки не деформируется в горизонтальном направлении, для песчаных и глинистых грунтов $c_1 = 0,2—0,3$;

B — ширина траншеи.

В траншее с вертикальными стенками на элементарный слой засыпки толщиной dz на глубине z от поверхности действуют силы собственного веса $\gamma B dz$, вертикальное давление сверху σ_z и снизу $\sigma_z + d\sigma_z$, а также силы трения и сцепления у стенок траншеи:

$$\tau = c_0 + \sigma_x \operatorname{tg} \varphi_0, \quad (\text{III.10})$$

где σ_x — нормальные горизонтальные напряжения.

часть веса засыпки и тем самым уменьшают нагрузку на трубы. По теории А. Марстона грунт в пазухах между трубой и стенками траншеи не уплотняется и не участвует в восприятии нагрузки. Поэтому вся имеющаяся в плоскости шельги нагрузка передается на трубу. По теории «силосной башни» вертикальные давления в каждом горизонтальном сечении засыпки распределяются равно-

Вертикальное давление у стенок по (III.9) при $x = \frac{B}{2}$

$$\sigma_{z_1} = \sigma_{z_0} (1 - c_1).$$

Отношение между горизонтальными и вертикальными напряжениями у стенок траншеи $\frac{\sigma_x}{\sigma_z} = \xi_1$. Условие равновесия элементарного слоя, т. е. равенство нулю суммы проекций на ось (z) всех действующих сил, выражается уравнением

$$\gamma B dz + 2 \int_0^{\frac{B}{2}} \sigma_{z_0} \left(1 - 4c_1 \frac{x^2}{B^2}\right) dx - 2 \int_0^{\frac{B}{2}} (\sigma_{z_0} + d\sigma_{z_0}) \times \\ \times \left(1 - 4c_1 \frac{x^2}{B^2}\right) dx - 2c_0 dz - 2\xi_1(1 - c_1) \operatorname{tg} \varphi_0 dz = 0,$$

откуда

$$d\sigma_{z_0} = \frac{[\gamma B + 2c_0 - 2\xi_1(1 - c_1) \operatorname{tg} \varphi_0] dz}{B \left(1 - \frac{c_1}{3}\right)}. \quad (\text{III.11})$$

После интегрирования уравнения (III.11) при граничном условии $z=0, \sigma_z=0$, имеем

$$\sigma_{z_0} = \frac{\gamma B - 2c_0}{2\xi_1(1 - c_1) \operatorname{tg} \varphi_0} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{2z [\xi_1(1 - c_1) \operatorname{tg} \varphi_0]}{B \left(1 - \frac{c_1}{3}\right)} \right] \right\}. \quad (\text{III.12})$$

На уровне верха трубы $z=H$, а полное вертикальное давление

$$G = 2 \int_0^{\frac{B}{2}} \sigma_{z_0} dx = \\ = \frac{\gamma B^2 \left(1 - \frac{c_1}{3}\right) \left(1 - \frac{2c_0}{\gamma B}\right)}{2\xi_1(1 - c_1) \operatorname{tg} \varphi_0} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{2H}{B} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{\xi_1(1 - c_1) \operatorname{tg} \varphi_0}{1 - \frac{c_1}{3}} \right] \right\}.$$

Расчетное вертикальное давление на трубу определяется зависимостью

$$G = n_{\text{в}} k_{\text{тр}} \gamma B H, \quad (\text{III.13})$$

где $n_{\text{в}}$ — коэффициент перегрузки, принимаемый равным 1,2;
 B — ширина траншеи;
 H — расстояние от поверхности грунта до шельги трубы;
 $k_{\text{тр}}$ — коэффициент вертикального давления грунта в траншее (коэффициент разгрузки).

$$k_{\text{тр}} = \frac{\left(1 - \frac{c_1}{3}\right) \left(1 - \frac{2c_0}{\gamma B}\right)}{2(1 - c_1) \xi_1 \operatorname{tg} \varphi_0} \times \\ \times \frac{B}{H} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{2H}{B} \cdot \frac{(1 - c_1) \xi_1 \operatorname{tg} \varphi_0}{1 - \frac{c_1}{3}} \right] \right\}. \quad (\text{III.14})$$

Если в уравнении (III.14) принять $c_1 = 0$, получим значение $k_{\text{тр}}$ для случая равномерного распределения вертикального давления грунта в траншее (по теории «силосной башни»). В практических расчетах сцепление c_0 обычно принимают равным нулю. Отношение между горизонтальным и вертикальным напряжением (ξ_1) для низинных торфяников может быть принято [42] равным 0,35, а среднее значение коэффициента трения $f = \operatorname{tg} \varphi_0 = 0,4$. Отсюда $\xi_1 \operatorname{tg} \varphi_0 = 0,140$. Для песчаных грунтов [21] $\xi_1 \operatorname{tg} \varphi_0$ колеблется от 0,2 до 0,165. С увеличением числовых значений $\xi_1 \operatorname{tg} \varphi_0$ растут разгружающие силы трения по стенкам траншей. Расчетные нагрузки на трубы по теории Л. М. Емельянова в сыпучих грунтах меньше, чем по теории «силосной башни». Для торфяников и глин в текучем состоянии (значения $\xi_1 \operatorname{tg} \varphi_0$ значительно ниже, чем для песчаных грунтов) имеет место обратное соотношение (табл. 41). Графики величин $k_{\text{тр}}$, построенные по (III.14) при $c_0 = 0$, и $c_1 = 0$, представлены на рис. 47. Кривые на графике следует выбирать по данным табл. 41.

Дренажные пластмассовые трубы имеют небольшие диаметры (40—140 мм) и закладываются в относительно широкие траншеи (250—500 мм). Поэтому во многих

случаях не сказывается разгружающее действие трения о стенки траншей, и трубы работают в условиях насыпи. Из-за разной сжимаемости трубопровода и находящейся рядом с ним засыпки происходит разное оседание вышележащих масс грунта над этой засыпкой и самим сооружением (рис. 45). При этом в состоянии предельного равновесия засыпки, лежащей выше трубопровода, в ней образуются две вертикальные плос-

кости скольжения, касательные к сооружению, доходящие не до поверхности земли, а только до некоторой плоскости, называемой уровнем равной осадки и находящейся на высоте $H_{p,0}$ от верха трубы. Кроме веса засыпки на трубопровод передается еще дополнительная нагрузка

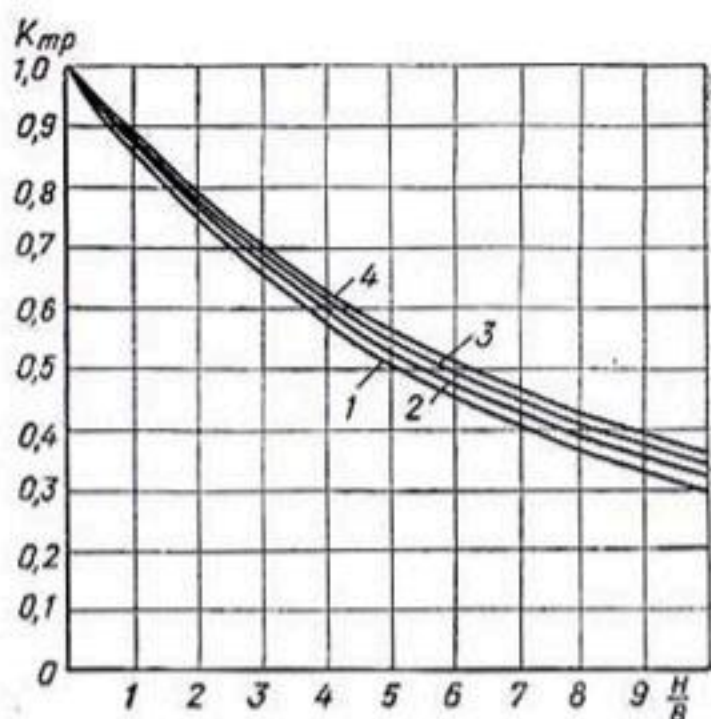


Рис. 47. Зависимость $k_{тр} = f\left(\frac{H}{B}\right)$:

1 — пески, суглинок твердой консистенции; 2 — суглинок пластичный и глины твердой консистенции; 3 — торф низинный; 4 — супесь, суглинок, глина пластичная.

Т а б л и ц а 41

Номер кривых	Грунт засыпки	$\xi, \text{tg} \varphi_0$
1	Пески и растительные грунты, влажные и насыщенные водой, а также глинистые грунты твердые	0,165
2	Глинистые грунты пластичные	0,148
3	Торф низинный	0,140
4	Глинистые грунты текучие	0,132

(в случае «жесткой» трубы) от сил трения по плоскостям скольжения. Высота равной осадки определяется с учетом относительной жесткости трубы, ее основания и засыпки. В. А. Ярошенко для определения концентрации вертикального давления грунта в насыпи предложил следующую формулу:

$$k_n = 1 - A \xi_a \text{tg} \varphi_n, \quad (\text{III.15})$$

$$A = \frac{S_1 h_B}{H} \left(2 - \frac{S_1 D_n h_B}{H^2} \right), \quad (\text{III.16})$$

где φ_n — нормативный угол внутреннего трения грунта;

h_B — высота выступающей из основания части трубопровода;

S_1 — коэффициент, принимаемый в зависимости от жесткости грунтового основания по табл. 42;

$\xi_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$ — коэффициент активного давления;

φ — угол внутреннего трения грунта.

Для встречающихся в практике значений φ_n произведение $\xi_a \operatorname{tg} \varphi_n$ изменяется очень мало и в практических расчетах применяется равным 0,185.

Т а б л и ц а 42

Характеристика основания	Значение S_1
Плотное (пески, кроме рыхлых, суглинки и глины твердые и тугопластичные)	10
Податливое (пески рыхлые, торф, суглинки и глины мягкопластичные)	5

Расчетное вертикальное давление на трубопровод в насыпи находят по зависимости

$$G_n = k_n \gamma H D_n. \quad (\text{III.17})$$

Коэффициент концентрации вертикального давления в насыпи определяют также по формуле

$$k'_n = \mp \frac{1}{2\xi_a \operatorname{tg} \varphi_n} \times \\ \times \frac{D_n}{H_{p,0}} \left[1 - \exp \left(\pm \frac{2H_{p,0}}{D_n} \xi_a \operatorname{tg} \varphi_n \right) \right]. \quad (\text{III.18})$$

В уравнении (III.18) верхний знак для жестких, нижний — для гибких труб. Толщину слоя равной осадки $H_{p,0}$ принимают $(2,5-3,5) D_n$ или вычисляют по формуле

$$H_{p,0} = 1,225 \sqrt{S_1 \kappa D_n}, \quad (\text{III.19})$$

$$\kappa = \frac{h_B}{D_n}.$$

Расчетное вертикальное давление в этом случае будет

$$G_n = \gamma [H - H_{p.o} (1 - k'_n)] D_n. \quad (\text{III.20})$$

Для жестких труб в расчет берут большее из значений G_n , определенных по (III.17) и (III.20).

Сплющивание трубопроводов во многом зависит от способа их опирания и бокового давления грунта. Трубы, лежащие на горизонтальном дне траншеи, деформируются больше по сравнению с уложенными в специальный желобок. Чем выше прочностные характеристики грунта и он лучше утрамбован в пазухах, тем трубопроводы сплющиваются меньше. В расчетах давления грунта на трубы влияние указанных факторов обычно учитывается коэффициентами опирания и бокового давления, числовые значения которых определены экспериментально. По действующим в СССР нормам («Водоснабжение, нормы проектирования, СНиП П-Г 3—62») расчетная приведенная вертикальная нагрузка на трубопровод, уложенный в траншею, определяется зависимостью

$$P_{тр} = \alpha_2 k_{тр} \eta (\gamma H + P_{вр}) \left(\frac{B}{D_n} + 1 \right) D_n, \quad (\text{III.21})$$

где α_2 — коэффициент, зависящий от способа опирания трубопровода на основание (при обычном способе он равен 0,42, при улучшенном — 0,36)

$$\alpha_2 = \frac{n_\beta \beta}{2} = \frac{1,2 \cdot 0,7}{2} = 0,42;$$

β — коэффициент приведения нагрузки, для дренажных трубопроводов $\beta = 0,7—0,6$;

$P_{вр}$ — временная нагрузка;

η — коэффициент, учитывающий боковое давление грунта на трубопровод, определенный по табл. 43.

Для сельскохозяйственного дренажа временной нагрузкой являются стога сена, бурты катрофея и свеклы, а также других продуктов растениеводства, хранящиеся некоторое время на осушаемой территории. Величина ее колеблется от 50 до 150 кг/м², размещается она обычно в разных местах осушаемой площади на короткое время и не каждый год. Поэтому в расчетах пластмассового дренажа можно принимать $P_{вр} = 0$. При

Грунт засыпки	Коэффициент η
Песок мелкий и пылеватый	0,78
Песок гравелистый, крупный и средней крупности . . .	0,82
Супеси и суглинки пластичной консистенции, торф низинный	0,90
Супеси и суглинки твердой консистенции, глины	1,00

небольших диаметрах труб, применяемых в сельскохозяйственном дренаже, и относительно широких траншеях разгружающее действие трения засыпки о стенки траншей не сказывается, и трубопроводы работают в условиях насыпи. Приведенную расчетную нагрузку в этом случае находят по формуле

$$P_n = k_n \gamma H D_n \eta \quad (\text{III.22})$$

или

$$P'_n = \gamma \eta [H - H_{p.o} (1 - k'_n)] D_n. \quad (\text{III.23})$$

Если произведение $\alpha_2 k_{\text{тр}} \left(\frac{B}{D_n} + 1 \right)$ в формуле (III.21) больше $\alpha_1 = k_n \eta$ (табл. 44), то нагрузка на уложенный в траншею трубопровод будет такой же, как и на трубопровод в насыпи; расчет следует проводить по формуле (III.22) или (III.23).

Т а б л и ц а 44

Грунт основания	Коэффициент α_1
Глина, супесь, суглинки твердой консистенции	1,25
Песок средне- и крупнозернистый, глина, суглинки, супесь пластичной консистенции, торф низинный	1,10
Песок мелкий и пылеватый	1,00

Расчетная нагрузка на трубопровод пропорциональна ширине траншеи. Следовательно, чтобы уменьшить сплющивание труб, дренаж надо закладывать в более узкие траншеи. Расчеты показывают, что для труб дренажосушителей $D_n = 40-50$ мм нужна траншея шириной 10—15 см. При $B \geq 20$ см трубы испытывают давление, равное давлению в насыпи, которое уже не зависит от ширины траншеи. Однако при $B \leq 25$ см возникают зна-

чительные технологические трудности при засыпке траншей и подключении дрен к коллекторам.

Пример 1. Гладкостенную дренажную трубу $D_n = 42$ мм с толщиной стенки 1,6 мм закладывают в траншею шириной $B = 0,5$ м на глубину 1,4 м. Грунт — торф, у которого $\gamma = 1$ т/м³, $E_{гр} = 1,0$ кг/см. Материал трубы ПВП, $E_t = 2100$ кг/см². Найти расчетную приведенную нагрузку P .

Средний радиус трубы

$$r = \frac{D_n - \delta}{2} = \frac{4,2 - 0,16}{2} = 2,02 \text{ см.}$$

Поскольку

$$\frac{E_t}{E_{гр}} \left(\frac{\delta}{r_{ср}} \right)^3 = \frac{2100}{1,0} \left(\frac{0,16}{2,02} \right)^3 = 1,04 > 1,0$$

трубопровод должен рассчитываться как жесткий. По графику рис. 47 при

$$\frac{H}{B} = \frac{1,4 - 0,042}{0,5} = 2,71$$

находим $k_{тр} = 0,71$. Так как произведение

$$\begin{aligned} \alpha_2 k_{тр} \left(\frac{B}{D_n} + 1 \right) &= 0,42 \cdot 0,71 \left(\frac{0,5}{0,042} + 1 \right) = \\ &= 3,85 > \alpha_1 = 1,1 \end{aligned}$$

(табл. 42), то трубопровод работает в условиях насыпи. По уравнениям (III.15) и (III.16) при $h_n = 3,0$ см и $S_1 = 5$ (табл. 42) имеем

$$A = \frac{5 \cdot 3}{135,8} 2 \left(\frac{5 \cdot 4,2 \cdot 3}{135,8^2} \right) = 0,221;$$

$$K_n = 1 + 0,221 \cdot 0,185 = 1,041.$$

По уравнению (III.19) определяем высоту равной осадки грунта над трубой при

$$\kappa = \frac{h_n}{D_n} = \frac{3,0}{4,2} = 0,715;$$

$$H_{p,0} = 1,225 \sqrt{5 \cdot 0,715 \cdot 4,2} = 9,7 \text{ см.}$$

По (III.18)

$$k_n^I = - \frac{1}{2 \cdot 0,185} \cdot \frac{4,2}{9,7} \times \\ \times \left[1 - \exp \left(- \frac{2 \cdot 9,7}{4,2} \cdot 0,185 \right) \right] = 0,166.$$

Приведенная нагрузка по (III.22) при $\eta = 0,9$ (табл. 41)

$$P_n = 1,041 \cdot 0,9 \cdot 0,001 \cdot 135,8 \cdot 4,2 = 53,5 \text{ кг/м.}$$

По (III.23)

$$P_n^I = 0,001 \cdot 0,9 [135,8 - 9,7 (1 - 0,166)] \cdot 4,2 = 48,3 \text{ кг/м.}$$

За расчетную приведенную нагрузку принимаем

$$P_n = 53,5 \text{ кг/м.}$$

§ 2. Деформации труб, прочность материала

Возможными деформациями пластмассовых дренажных труб являются:

а) изменение формы поперечного сечения (сплющивание), обусловленное воздействием статических и повторных нагрузок, при этом укорачивается вертикальный и удлиняется горизонтальный диаметр трубопровода с общим уменьшением площади поперечного сечения;

б) потеря устойчивости поперечного сечения под действием тех же нагрузок;

в) образование трещин от ударных и изгибающих нагрузок;

г) изломы и перегибы, возникающие под воздействием изгибающих нагрузок;

д) смятие материала при нагрузках, превышающих допустимые;

е) механические повреждения грызунами;

г) потеря прочности, обусловленная воздействием химических и биологических факторов.

Допустимые деформации. В практике прочностных расчетов пластмассовых труб принято за допустимую деформацию от воздействия расчетных статических и повторных нагрузок принимать величину относительного

укорачивания их вертикального диаметра $\psi = \frac{\Delta D_n}{D_n}$.

Для водопроводных труб из пластмасс допустимую величину $[\psi]$ принимают равной 0,035. В мелиоративной практике при расчетах перфорированных дренажных труб ее принимают значительно большей, до 0,22, чему соответствует уменьшение площади их поперечного сечения до 7%. С увеличением деформаций сечение трубы приобретает эллипсовидную форму.

Деформации труб при статических нагрузках. На величину деформаций дренажных труб существенно влияет наличие перфорационных отверстий. При этом размер, форма, количество и расположение перфораций играют первостепенное значение. Влияние перфорации на прочностные характеристики пластмассовых дренажных труб пока изучено недостаточно. Теоретических решений нет. Сравнительными испытаниями установлено [29, 31], что полиэтиленовые гладкостенные трубы, имеющие 3—6 рядов круглых водоприемных отверстий $d_0 = 0,5—1,5$ мм, сплющиваются в 1,1—1,3 раза больше неперфорированных. В трубах из ПВХ при 3—6 рядах продольных щелей шириной 0,5—1,0, длиной 20—30 мм деформации сплющивания примерно в 2,0 раза больше. При равной общей площади перфорации гладкостенные полиэтиленовые трубы с круглыми водоприемными отверстиями примерно в 2 раза меньше деформируются, чем трубы с продольными щелями. Длительными натурными и лабораторными экспериментами [29, 34] установлено, что основные деформации сплющивания дренажных труб происходят в первые 4—5 месяцев после укладки, т. е. в период уплотнения траншейной засыпки. В последующем они нарастают очень медленно и по истечении 3—4 лет практически прекращаются.

Деформации от повторных нагрузок. Нагрузки, создаваемые передвигающимися по поверхности осушаемой территории машинами и сельскохозяйственными орудиями, суммируясь со статическими, увеличивают сплющивание труб. Однако специальными опытами в полевых условиях установлено [29, 31, 32], что дополнительное сплющивание экструдированных труб от повторных нагрузок при глубине их закладки более 1,0 м очень малы и в расчет их можно не принимать.

Деформации от ударных нагрузок. Ударные нагрузки, возникающие при транспортировке и разгрузке труб из НПВХ, а также засыпке траншей, нередко приводят к об-

разованию скрытых и открытых трещин и проломов. Низкие температуры воздуха значительно уменьшают сопротивляемость труб из НПВХ ударным нагрузкам, так как материал становится хрупким. Образование трещин приводит к потере несущей способности. Ударные нагрузки представляют значительную опасность только для гладкостенных труб из НПВХ. Сопротивляемость удару гофрированных в два-три раза выше [73, 74]. Для труб из ПВХ ударные нагрузки даже при отрицательных температурах не представляют особой опасности. Имеющийся практический опыт и специальные исследования [19, 78, 82] показывают, что дренажные трубы из пластмасс не повреждаются грызунами, химическая и бактериологическая стойкость их очень высокая.

Прочностные характеристики термопластов уменьшаются с течением времени и, кроме того, зависят от температуры. Модуль упругости полиэтиленовых труб по прошествии t часов оказывается равным

$$E_t = E_0 \left(\frac{b}{t} \right)^m, \quad (\text{III.24})$$

где E_0 — начальный модуль упругости, равный 5000 кг/см^2 для ПВХ и 1500 кг/см^2 для ПНП;

$b = 10^{-5}$, час;

$m = 0,04$.

Расчетное сопротивление R'_p и модули упругости E_t для пластмассовых труб принимаются в зависимости от срока их службы (табл. 45), а коэффициент Пуассона μ_t — равным для полиэтиленовых труб 0,32, винилпластовых 0,24. Модуль упругости полиэтилена зависит еще от температуры и может быть найден по формулам: при температуре выше 20°

$$E_t = E_0 \left(1 - \text{th} \frac{\Delta t}{40} \right); \quad (\text{III.25})$$

при температуре ниже 20°

$$E_t = E_0 \left(1 + \text{ch} \frac{\Delta t}{40} \right), \quad (\text{III.26})$$

где Δt — перепад температуры по отношению к 20° .

Температура почвы на глубине закладки сельскохозяйст-

венного дренажа в среднем составляет 6—10°, иногда опускаясь до отрицательной в зимний период. Поэтому расчетные сопротивления и модули упругости будут несколько выше приведенных в табл. 45.

Т а б л и ц а 45

Материал	Возраст труб, лет									
	0		5		15		25		50	
	R'_p	E_t	R'_p	E_t	R'_p	E_t	R'_p	E_t	R'_p	E_t
Полиэтилен высокой плотности	65	5000	63	2060	58	1960	55	1900	50	1850
Полиэтилен низкой плотности	35	1500	34	610	31	580	28	570	25	550
Винипласт (НПВХ)	180	20 000	120	13 000	100	12 300	82	12 000	57	11 600

§ 3. Расчет подземных трубопроводов

Расчет трубопроводов, уложенных в грунте, проводится по предельным состояниям. Предельные состояния подземных трубопроводов из полимерных материалов, т. е. состояния, при которых они перестают удовлетворять эксплуатационным требованиям, характеризуются следующими возможными формами разрушения или появлением недопустимых деформаций:

- а) разрушением по образующей, т. е. по продольному сечению стенки трубопровода;
- б) разрушением по производящей, т. е. по поперечному сечению;
- в) укорачиванием вертикального диаметра, приводящим к недопустимому снижению пропускной способности трубопровода;
- г) потерей устойчивости стенок.

В дренажных трубах возможны разрушения по пункту б, в и г. Разрушения по образующей характерны для напорных трубопроводов. В каждом конкретном случае опасным может быть только одно из перечисленных предельных состояний. Для пластмассовых трубопроводов заранее неясно, какое предельное состояние является опасным. Поэтому расчеты приходится проводить для каждого из возможных.

Расчеты подземных трубопроводов по предельным состояниям сводятся к удовлетворению неравенств, левая часть которых содержит расчетные величины внутренних усилий, нагрузок или деформаций, а правая — соответствующие предельно допустимые. При расчетах по первому предельному состоянию должно быть выполнено неравенство:

$$P_0 \leq \Phi, \quad (\text{III.27})$$

где P_0 — расчетная нагрузка на трубопровод или расчетное усилие в опасном сечении;

Φ — соответствующая расчетная несущая способность, т. е. предельно допустимые нагрузка или усилие.

Расчет трубопровода по второму предельному состоянию сводится к удовлетворению условия

$$\psi \leq [\psi], \quad (\text{III.28})$$

где ψ — относительное укорачивание вертикального диаметра трубопровода при сплющивании;

$[\psi]$ — предельно допустимая величина этого укорачивания.

В пластмассовых дренажных трубах определяют деформации поперечного сечения и несущую способность, проверяют устойчивость круговой формы.

Укорачивание вертикального диаметра трубопровода определяется зависимостью

$$\Delta D_n = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \bar{P} \xi}{A_0}; \quad (\text{III.29})$$

$$A_0 = \frac{E_t \bar{I}}{r^3 (1 - \mu_t^2)}, \quad (\text{III.30})$$

где $\bar{P}$ — приведенная расчетная нагрузка на отрезок трубы длиной 100 см;

$\bar{I}$ — момент инерции продольного сечения отрезка трубы длиной 100 см;

E_t — переменный модуль нормальной упругости материала трубы, учитывающий влияние усталостных процессов (ползучести, релаксации);

r — средний радиус трубы;

ξ — коэффициент снижения изгибающих моментов в трубопроводе под влиянием отпора грунта

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{\rho_r + p}{\rho_a + 0,143 \rho_r}}; \quad (\text{III.31})$$

ρ_a и ρ_r — параметры, характеризующие жесткость кольца трубы и окружающего грунта

$$\rho_a = 3A = \frac{3E_t \bar{I}}{r^3 (1 - \mu_t^2)}; \quad (\text{III.32})$$

$$\rho_r = \frac{E_{гр}}{6(1 + \mu_r)} \approx 0,125 E_{гр}, \quad (\text{III.33})$$

p — внутреннее давление в трубопроводе; в дренажных трубах $p=0$. Значения модуля деформации грунта $E_{гр}$ и коэффициента Пуассона μ_r приведены в табл. 46.

Т а б л и ц а 46

Грунт	$E_{гр},$ кг/см ²	μ_r
Пески:		
крупные и средней крупности	160	0,30
мелкие	120	0,30
пылеватые	50	0,30
Супеси и суглинки	50	0,35

Относительное укорачивание вертикального диаметра трубопровода не должно превышать допустимых пределов:

$$\frac{\Delta D_n}{D_n} \leq [\psi]. \quad (\text{III.34})$$

Для напорных трубопроводов из полимерных материалов $[\psi]=0,035$; при расчетах дренажных труб принимается $[\psi]=0,22$ [84].

Под действием грунтовой нагрузки и в случае образования вакуума может произойти потеря устойчивости первоначальной круговой формы поперечного сечения и сплющивание трубопровода. Критическое внешнее давление, которое он способен выдержать в упругой среде,

из условий устойчивости круговой формы определяется формулой Е. Л. Николаи:

$$\rho_{кр} = \rho_{\lambda} \frac{n_1^2 - 1}{3} + 2 \rho_r \frac{3}{n_1^2 - 1}, \quad (\text{III.35})$$

где n_1 — число полуволи упругой линии кольца; оно должно быть взято таким, чтобы значение $\rho_{кр}$ было минимальным

$$n_1 = \sqrt{1 + 3 \sqrt{\frac{2\rho_r}{\rho_{\lambda}}}}. \quad (\text{III.36})$$

Подстановка (III.36) в (III.35) дает

$$\rho_{кр} = 2 \sqrt{2\rho_{\lambda}\rho_r}. \quad (\text{III.37})$$

Формула (III.37) допускает использование дробных и целых чисел $n_1 \geq 2$. При $n_1 = 2$

$$\rho_{кр} = \rho_{\lambda} + 2\rho_r. \quad (\text{III.38})$$

В практических расчетах в качестве критического внешнего давления рекомендовано [21] меньшее из двух, вычисленных по формулам

$$\rho_{кр} = 2 \sqrt{\rho_{\lambda}\rho_r}; \quad (\text{III.39})$$

$$\rho'_{кр} = \rho_{\lambda} + 1,143 \rho_r. \quad (\text{III.40})$$

Чтобы обеспечить устойчивость круговой формы поперечного сечения трубопровода, необходимо выполнить условие

$$\frac{\bar{P}}{100 k_y D_n} \leq \rho_{кр}, \quad (\text{III.41})$$

где k_y — коэффициент условия работы труб на устойчивость; для труб из ПВХ $k_y = 0,6$.

Допустимая внешняя нагрузка на трубопровод при отсутствии внутреннего давления равна

$$P^0 = m_1 R_p \frac{\pi}{r} \bar{W}, \quad (\text{III.42})$$

где $\overline{W}$ — момент сопротивления продольного сечения отрезка трубы длиной 100 см;

R_p — расчетное сопротивление материала трубы;

m_1 — коэффициент условия работы трубопровода; для труб из полимерных материалов $m_1 = 1$.

Допустимое внутреннее давление при отсутствии внешней нагрузки

$$P^0 = m_1 R_p \frac{\delta}{r_0}, \quad (\text{III.43})$$

где r_0 — внутренний радиус трубы.

Несущая способность трубопровода, по условию прочности материала, при отсутствии внутреннего давления должна удовлетворять неравенству

$$\frac{\overline{P} \xi}{100} \leq m_1 R_p \frac{\pi}{r} \overline{W}. \quad (\text{III.44})$$

§ 4. Расчет гофрированных дренажных труб

Назначая поперечное сечение дренажной трубы (выбирая толщину ее стенки), необходимо обеспечить достаточную прочность при действии расчетных нагрузок и минимальный расход материала. Эти два требования наиболее удачно сочетаются, если используются трубы с гофрированными стенками. За счет увеличения момента инерции продольного сечения стенки замена гладкостенных труб гофрированными позволяет без уменьшения прочности сэкономить до 30 % материала. Для гофрированных дренажных труб основным является расчет на деформацию от статической грунтовой нагрузки. При этом поперечное сечение трубопровода рассматривается в качестве упругого кольца; относительное укорачивание вертикального диаметра не должно превышать 22 %. Абсолютную величину его определяют уравнением

$$\Delta D_n = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \overline{P} r^3 (1 - \mu_t^2)}{E_t \overline{I}}, \quad (\text{III.45})$$

где $\overline{I}$ — момент инерции продольного сечения отрезка гофрированной трубы длиной 100 см;

$$\overline{I} = I_n$$

n — число волн гофров на отрезке трубы длиной 100 см;

$$n = \frac{100}{S},$$

I — момент инерции сечения волны гофра;

S — длина волны (шаг) гофра.

Момент инерции сечения гофра, состоящего из параболических дуг, очерченных по уравнению

$$y = \frac{h}{2} \left[1 - \left(1 - \frac{4x}{S} \right)^n \right]; \quad n \approx 2; \quad -\frac{S}{4} \leq x \leq \frac{S}{4};$$

равен

$$I_{\text{пар}} = \frac{4\delta}{105} [S(3h^2 + \delta^2) + 2,6h(h^2 + 3\delta^2)], \quad (\text{III.46})$$

где h — высота гофра;

δ — толщина стенки.

Момент инерции сечения гофра, состоящего из двух полуокружностей с вертикальной вставкой высотой h_1 (рис. 48, б), определяется зависимостью

$$I_{\text{пол}} = \frac{\delta}{4} \left(\frac{\pi S^3}{16} + S^2 h_1 + \frac{\pi S}{2} h_1^2 + \frac{2}{3} h_1^3 \right). \quad (\text{III.47})$$

Для гофра коробчатого профиля (рис. 48, г)

$$I_{\text{кор}} = \frac{\delta}{6} \left[\frac{S}{2} (3h^2 + \delta^2) + (h - \delta)^3 \right] \quad (\text{III.48})$$

и трапециевидального сечения

$$I_{\text{тр}} = \frac{\delta}{6} \left[\frac{h^3}{\cos \alpha} + \frac{1}{2} (3h^2 + \delta^2) (S - 2h \operatorname{tg} \alpha) \right], \quad (\text{III.49})$$

где α — угол наклона ребра гофра к вертикали (рис. 48, в).

Момент инерции сечения гофра, очерченного по синусоиде

$$y = \frac{h}{2} \sin \frac{2\pi x}{S}, \quad (\text{III.50})$$

можно приближенно вычислить по уравнению (III.46).

В стенках дренажных труб имеются водоприемные отверстия той или другой формы, расположенные с определенным интервалом по образующей и периметру. Наличие перфорации уменьшает их несущую способность. В настоящее время влияние отверстий на прочность дре-

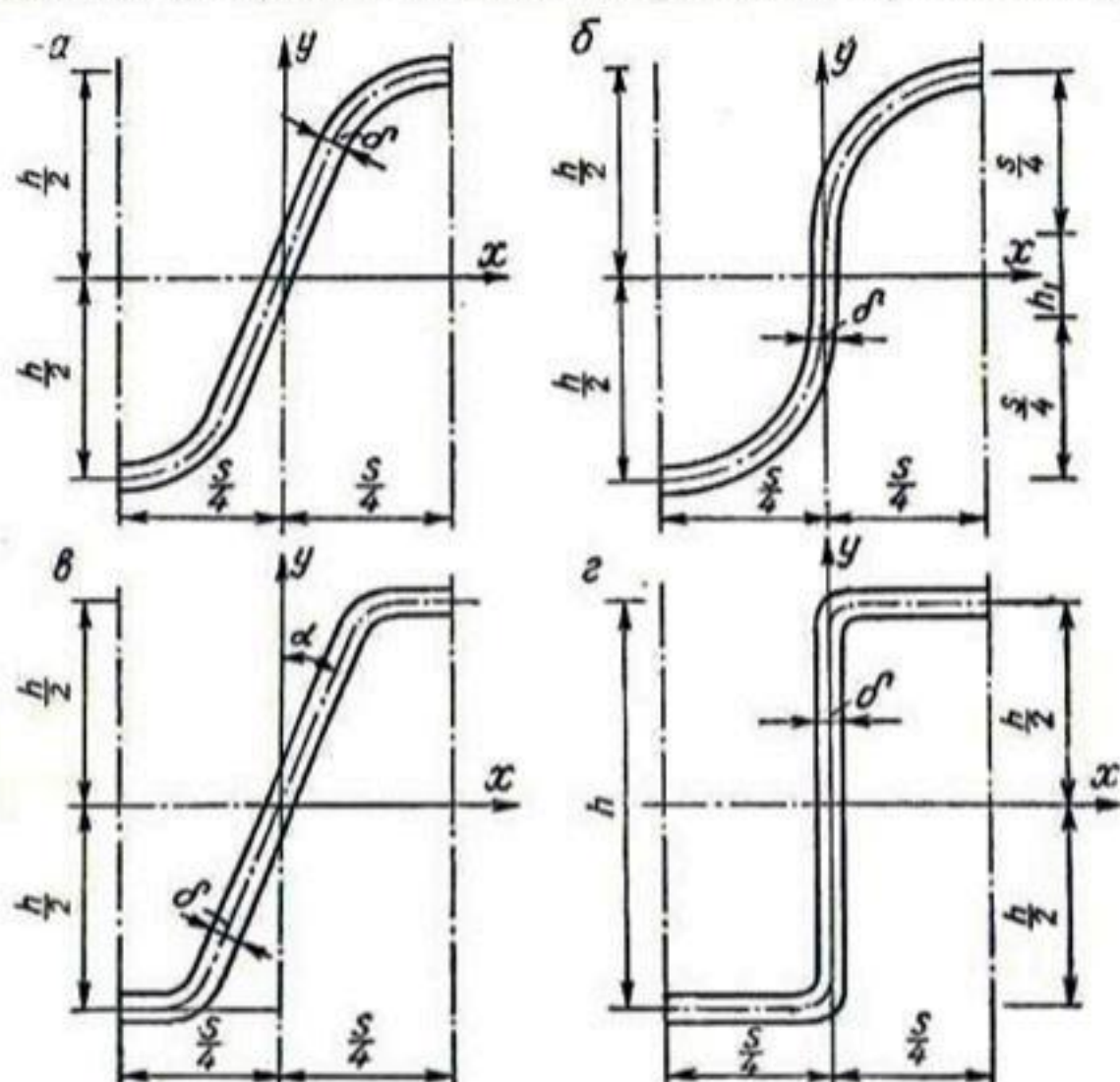


Рис. 48. Расчетные схемы гофров дренажных труб, очерченных по параболическим дугам (а); полуокружностям с вертикальной вставкой (б); трапециям (в) и прямоугольникам (г).

нажных труб изучено недостаточно. Обычно уменьшение прочности учитывается специальным коэффициентом k . Величина его зависит от формы, размеров и расположения водоприемных отверстий. Специальными лабораторными опытами в компрессионных приборах установлено, что этот коэффициент изменяется от 0,5 до 0,9.

Г. В. Донской [13] на основе решения упрощенной схемы статической работы стенки трубы получил следующую зависимость

$$k_1 = 1 - \sqrt{\frac{\lambda}{\delta} \eta_0}, \quad (\text{III.51})$$

где k_1 — коэффициент снижения прочности, равный отношению момента сопротивления перфорированной стенки трубы к моменту сопротивления неперфорированной стенки

$$\lambda = \frac{C_p}{C_0}; \quad (\text{III.52})$$

C_p — расстояние между рядами отверстий;
 C_0 — расстояние между отверстиями в ряду;
 $\delta = 0,785$ для круглых отверстий и равно отношению высоты отверстия к его ширине — для прямоугольных щелей;
 η_0 — скважность той части поверхности труб, в которой в основном расположена перфорация.

Поскольку в дренажных пластмассовых трубах отверстия устраивают, как правило, симметрично по окружности, скважность (на 1 пог. м) можно определить по зависимости

$$\eta_0 = \frac{F}{100 \pi D_n}, \quad (\text{III.53})$$

где F — площадь перфорации на 1 пог. м трубы. Площадь перфорации трубы, имеющей круглые отверстия диаметром d_0 , расположенные в m рядов по окружности и с шагом S_0 по образующей, равна

$$F = \frac{100 m \pi d_0^2}{4 S_0}. \quad (\text{III.54})$$

Подставив (III.54) в (III.53), получим для труб с круглыми водоприемными отверстиями

$$\eta_0 = \frac{m d_0^2}{4 D_n S_0}. \quad (\text{III.55})$$

Аналогично для труб, имеющих продольные щели длиной l и шириной τ ,

$$\eta_m = \frac{m \tau l}{\pi D_n S_0}. \quad (\text{III.56})$$

Для дренажных труб

$$\begin{aligned}C_p &= \frac{\pi D_n}{m}; \\C_0 &= S_0; \\\delta_0 &= 0,785; \\\delta_{\text{ш}} &= \frac{\tau}{l}.\end{aligned}\tag{III.57}$$

Подставив (III.55), (III.56) и (III.57) в (III.51), получим коэффициент снижения прочности для труб с круглыми водоприемными отверстиями

$$k_0 = 1 - \frac{d_0}{S_0}\tag{III.58}$$

и с продольно-щелевой перфорацией

$$k_{\text{ш}} = 1 - \frac{l}{S_0},\tag{III.59}$$

где d_0 — диаметр круглых перфорационных отверстий;
 l — длина продольных щелей;
 S_0 — шаг перфорации.

Уравнения (III.58) и (III.59) справедливы в том случае, когда расстояния между перфорационными отверстиями в ряду $S_0 \geq 3d_0$, ($S_0 \geq 3l$), а по окружности $L \geq 10d_0$, ($L > 20\tau$).

Коэффициент уменьшения прочности применяемых в СССР пластмассовых дренажных труб колеблется в пределах 0,5—0,9; гофрированных, выпускаемых БЗПИ, изменяется от 0,72 до 0,9.

Уравнение (III.45) с учетом упругого отпора грунта и влияния перфорации можно представить в виде

$$\Delta D_n = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \bar{P} r^3 S (1 - \mu_t^2) \xi}{E_t I k_1},\tag{III.60}$$

где

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{0,125 E_{\text{гп}} r^3 (1 - \mu_t^2)}{3 E_t I + 0,0179 E_{\text{гп}} r^3 (1 - \mu_t^2)}}.\tag{III.61}$$

Чтобы обеспечить прочность гофрированных дренажных труб по допустимым деформациям, необходимо выполнить следующее условие:

$$\frac{1,25 \cdot 10^{-3} \bar{P} r^3 S (1 - \mu_t^2) \xi}{D_n E_t I k_1} \leq [\psi]. \quad (\text{III.62})$$

Критическое внешнее давление, которое способен выдержать трубопровод с гофрированными стенками при условии сохранения устойчивости кольца, найдем из уравнений (III.39) и (III.40). Подставив в них значения p_d и p_r по (III.32) и (III.33) и учтя, что $\bar{I} = 100 \frac{I}{S}$, получим

$$p_{кр} = 12,25 \sqrt{\frac{E_t I E_{rp} k_1}{S r^3 (1 - \mu_t^2)}}; \quad (\text{III.63})$$

$$p'_{кр} = \frac{300 E_t I k_1}{S r^3 (1 - \mu_t^2)} + 0,143 E_{rp}, \quad (\text{III.64})$$

где I — момент инерции сечения волны гофра;
 S — шаг гофров.

Чтобы обеспечить устойчивость круговой формы поперечного сечения гофрированной трубы, необходимо выполнить следующие условия:

$$\frac{\bar{P}}{100 k_y D_n} \leq 12,25 \sqrt{\frac{E_t I E_{rp} k_1}{S r^3 (1 - \mu_t^2)}}, \quad (\text{III.65})$$

$$\frac{\bar{P}}{100 k_y D_n} \leq \frac{300 E_t I k_1}{S r^3 (1 - \mu_t^2)} + 0,143 E_{rp}. \quad (\text{III.66})$$

Допустимую внешнюю нагрузку на дренажную трубу с гофрированными стенками найдем по уравнению (III.42), подставив в него значение момента сопротивления

$$\bar{W} = \frac{2 \cdot 100 I}{S(h + \delta)}. \quad (\text{III.67})$$

Имеем

$$p^0 = \frac{200 m_1 R_p \pi I}{S r (h + \delta)}. \quad (\text{III.68})$$

Для обеспечения несущей способности дренажных труб с гофрированными стенками необходимо выполнить следующее условие:

$$\frac{\bar{P} \xi}{100} \leq \frac{2\pi m_1 R_p / k_1}{S r (h + \delta)}, \quad (\text{III.69})$$

где R_p — расчетное сопротивление материала трубы.

Поскольку несущая способность трубопроводов из пластичных материалов заметно повышается благодаря перераспределению усилий между отдельными сечениями из-за пластических деформаций, в практике расчета дренажа рекомендуется принимать $R_p = \sigma_r$, а коэффициент условия работы $m_1 = 0,5$. Для ПВХ предел текучести $\sigma_r = 260 \text{ кг/см}^2$.

Расчеты показывают, что устойчивость круговой формы поперечного сечения гофрированных труб, применяемых в практике мелиоративного строительства в СССР, всегда обеспечивается с большим запасом. Поэтому устойчивость кольца при расчетах труб проверять не следует. Основными являются расчеты по допустимым деформациям и несущей способности.

Пример 2. Определить толщину стенки трубы из ПВХ диаметром $D_n = 100 \text{ мм}$, у которой гофры очерчены по двум полуокружностям и имеют высоту $h = 4$ и шаг $S = 8 \text{ мм}$. Трубопровод укладывается в траншею глубиной $h_0 = 1,5$ и шириной $B = 0,5 \text{ м}$ с желобком на дне глубиной 2 см . Грунт — низинный торфяник, у которого $\gamma = 1 \text{ г/см}^3$, $\delta_1 = 0,14 \text{ г/см}^3$. Расчетный срок службы дренажа $t = 25$ лет. Допустимая относительная деформация $[\varphi] = 0,22$. Перфорация в трубе выполнена в виде круглых отверстий $d_0 = 1,2 \text{ мм}$ в шесть рядов с шагом $S_0 = 8,0 \text{ мм}$.

Зададимся толщиной стенки $\delta = 1,4 \text{ мм}$. По табл. 45 при $t = 25$ найдем $E_t = 1900$, $R'_p = 55 \text{ кг/см}^2$; $\mu_t = 0,32$; $m_1 = 0,5$; $\sigma_r = 260 \text{ кг/см}^2$. Вычислим средний радиус трубы

$$r = \frac{D_n - \delta}{2} = \frac{10,0 - 0,14}{2} = 4,93 \text{ см.}$$

По графику рис. 44 и заданному δ_1 определим коэффициент плотности торфа $A_1 = 0,75$ и по уравнению (III.6) модуль его деформации:

$$E_{\text{гр}} = \frac{0,1 \cdot 1,5}{0,75 \{1 - \exp[-1,5(0,021 + 0,005 \cdot 25)]\}} = 1,47 \text{ кг/см}^2.$$

Момент инерции сечения гофра при $h_1=0$ рассчитаем по уравнению (III.29):

$$I_{\text{пол}} = \frac{\pi \delta S^3}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,14 \cdot 0,8^3}{64} = 0,0035 \text{ см}^4,$$

а по (III.7') найдем критерий жесткости трубопровода

$$\frac{12 \cdot 1900 \cdot 0,0035}{1,47 \cdot 4,93^3 \cdot 0,8} = 0,566 < 1.$$

Следовательно, трубопровод должен рассчитываться как гибкий. По графику рис. 47 при

$$\frac{H}{B} = \frac{h_0 - D_n}{B} = \frac{1,5 - 0,1}{0,5} = 2,8$$

$$k_{\text{тр}} = 0,615.$$

Определим величину

$$0,42 \cdot k_{\text{тр}} \left(\frac{B}{D_n} + 1 \right) = 0,42 \cdot 0,615 \left(\frac{0,5}{0,1} + 1 \right) = 1,55.$$

Поскольку она больше $\alpha_1=1,1$ (табл. 44), расчет следует проводить для условий трубопровода, уложенного в насыпи.

По уравнениям (III.15) и (III.18), найдем коэффициент k_n .

Для этого определим

$$h_n = 10 - 2 = 8 \text{ см}; H = 150 - 10 = 140 \text{ см};$$

$$S_1 = 5 \text{ (табл. 42)}, \varepsilon_a \operatorname{tg} \varphi_n = 0,185;$$

и по уравнению (III.16)

$$A = \frac{5 \cdot 8}{140} \left(2 - \frac{5 \cdot 10 \cdot 8}{140^2} \right) = 0,568;$$

$$k_n = 1 + A \varepsilon_a \operatorname{tg} \varphi_n = 1 + 0,568 \cdot 0,185 = 1,105.$$

По уравнению (III.19)

$$H_{p.o} = 1,225 \sqrt{5 \cdot 0,8 \cdot 10} = 24,5 \text{ см};$$

$$\kappa = \frac{8}{10} = 0,8.$$

$$k'_n = \frac{1}{2 \cdot 0,185} \cdot \frac{10}{24,5} \left[1 - \exp \left(- \frac{2 \cdot 24,5}{10} 0,185 \right) \right] = 0,447.$$

Приведенную расчетную нагрузку вычислим по (III.22) и (III.23)

$$P_n = 1,105 \cdot 0,9 \cdot 0,001 \cdot 140 \cdot 10 = 1,39 \text{ кг/см};$$

$$P'_n = 0,001 \cdot 0,9 [140 - 24,5 (1 - 0,447)] \cdot 10 = 1,14 \text{ кг/см}.$$

В расчет принимаем большую из них — $\bar{P}_n = 139 \text{ кг/м}$. Коэффициент упругого отпора грунта по (III.61)

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{0,125 \cdot 1,47 \cdot 4,93^3 (1 - 0,32^2)}{3 \cdot 1900 \cdot 0,0035 + 0,0179 \cdot 1,47 \cdot 4,93^3 (1 - 0,32^2)}} = 0,533.$$

Коэффициент снижения прочности трубы перфорационными отверстиями определяем по (III.58)

$$k_0 = 1 - \frac{1,2}{8} = 0,85.$$

По (III.60) определим величину укорачивания вертикального диаметра трубопровода

$$\Delta D = \frac{0,00125 \cdot 139 \cdot 4,93^3 \cdot 0,8 \cdot 0,533 (1 - 0,32^2)}{1900 \cdot 0,0035 \cdot 0,85} = 1,71 \text{ см}.$$

Она меньше допустимой $\Delta D = D_n [\psi] = 10 \cdot 0,22 = 2,2 \text{ см}$.

Следовательно, толщина стенки $\delta = 1,4 \text{ мм}$ принята завышенной. Подставив в уравнение (III.62) значение I по (III.47) и ΔD по (III.34) и разрешив его относительно δ , получим

$$\delta = \frac{0,00125 \cdot 64 \cdot P_{\text{н}} r^3 \xi (1 - \mu_t^2)}{E_t \pi_1 S^2 D_{\text{н}} [\psi] k_0} =$$

$$= \frac{0,00125 \cdot 64 \cdot 139 \cdot 4,93^3 \cdot 0,533 (1 - 0,32^2)}{1900 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 10 \cdot 0,22 \cdot 0,85} = 0,091 \text{ см.}$$

Проверим устойчивость круговой формы поперечного сечения трубы. По уравнению (III.65) определим нагрузку на нее, исходя из условия устойчивости кольца:

$$\frac{\bar{P}}{100 k_y D_{\text{н}}} = \frac{139}{100 \cdot 0,6 \cdot 10} = 0,205 \text{ кг/см}^2.$$

Вычислим момент инерции поперечного сечения гофра:

$$I = \frac{3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,8^3}{64} = 0,00252 \text{ см}^4.$$

По формуле (III.65) найдем предельно допустимую нагрузку:

$$12,25 \sqrt{\frac{1900 \cdot 0,00252 \cdot 1,47 \cdot 0,85}{0,8 \cdot 4,93^3 (1 - 0,32^2)}} = 3,18 \text{ кг/см}^2.$$

Поскольку $0,205 \ll 3,18$, устойчивость круговой формы трубопровода обеспечивается с большим запасом.

Определим необходимую толщину стенки трубы из условия обеспечения несущей способности. Для этого, подставив в уравнение (III.69) значение I по (III.47) и решив его относительно δ , будем иметь

$$\delta \geq \frac{0,64 \bar{P} r h \xi}{2 m_1 R_p \pi^2 S^2 k_1 - 0,64 P r \xi} =$$

$$= \frac{0,64 \cdot 139 \cdot 4,93 \cdot 0,4 \cdot 0,533}{2 \cdot 0,5 \cdot 260 \cdot 3,14^2 \cdot 0,8^2 \cdot 0,85 - 0,64 \cdot 139 \cdot 4,93 \cdot 0,533} = 0,095 \text{ см.}$$

Окончательно толщину стенки примем $\delta = 1,0 \text{ мм}$, проверив выполнение условий (III.62) и (III.69).

§ 5. Рациональная форма гофров

В настоящее время применяют самые разнообразные профили гофров, а отношение их шага к высоте колеблется в больших пределах. Встает вопрос, какое же очер-

тание гофра и какое соотношение $\frac{S}{h}$ наиболее рационально с точки зрения прочности трубопроводов. Такая задача для дренажных гофрированных труб решена Б. К. Хасеневичем [53].

Уравнение (III.62) после несложных преобразований можно записать как

$$\frac{1,56 \cdot 10^{-4} \bar{P} F^2 (1 - \mu_t^2)}{E_t I S} = \psi, \quad (\text{III.70})$$

где $F = 2rS$ — горизонтальная проекция поверхности трубы длиной S ;

ψ — относительная деформация трубопровода.

При постоянных $\bar{P}$ и F для минимума относительной деформации, т. е. получения наиболее жесткой стенки, необходимо, чтобы $(IS) \rightarrow \max$. А. Р. Ржаницын [43] решил задачу об установлении оптимального очертания гофра, дающего максимальную жесткость при заданном расходе материала, и получил следующие зависимости:

$$I = \frac{2\delta C^3}{24(1 - k^2)^3 K^3(k)} [(1 + k^2) E(k) - (1 - k^2) K(k)], \quad (\text{III.71})$$

$$S = \frac{2 K(k) (1 - k^2)}{2 E(k) - (1 - k^2) K(k)} C, \quad (\text{III.72})$$

где $K(k)$ — полный эллиптический интеграл первого рода при модуле k ;

$E(k)$ — полный эллиптический интеграл второго рода;

C — длина дуги полуволны гофра.

Уравнения (III.71) и (III.72) справедливы для сечения волны (рис. 49), описываемого уравнением

$$y = \frac{kS}{2(1 - k^2) K(k)} \operatorname{Sn} \left[4K(k) \frac{x}{S} \right], \quad (\text{III.73})$$

где $\operatorname{Sn}(u)$ — эллиптический синус Якоби [60].

Из (III.71) и (III.72) получим

$$IS = \frac{4\delta C^4 [(1 + k^2) E(k) - (1 - k^2) K(k)] K(k) (1 - k^2)}{3 [2E(k) - (1 - k^2) K(k)]^4}, \quad (\text{III.74})$$

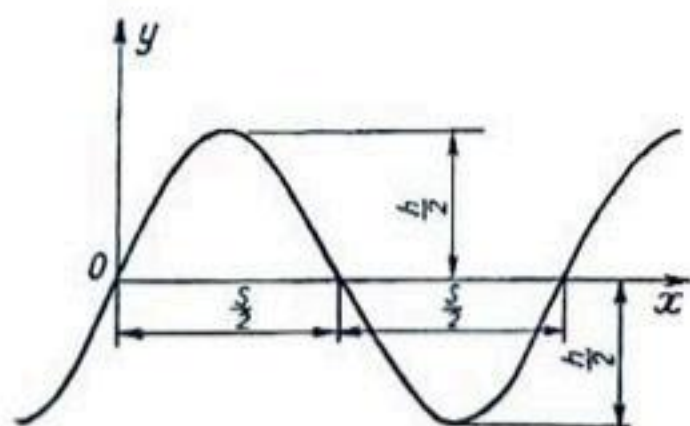


Рис. 49.

При заданных значениях δ и C величина IS по (III.74) зависит только от одного параметра k . Максимум функции IS имеет место при $k=0,67$ [$K(k)=1,79$, $E(k)=1,37$].

Подставив указанные значения k ; $K(k)$ и $E(k)$ в (III.72),

получим

$$S = 1,125C, \quad (\text{III.75})$$

и из уравнений (III.71) и (III.75) найдем

$$I = 0,1237 \delta C^3. \quad (\text{III.76})$$

При $x = \frac{S}{4}$ $y = \frac{h}{2}$ и из уравнения (III.73) будем иметь

$$h = 0,76C. \quad (\text{III.77})$$

Соотношение между шагом гофра и его высотой из (III.75) и (III.77) равно

$$\frac{S}{h} = 1,48. \quad (\text{III.78})$$

Таким образом, по условию прочности оптимальным очертанием гофров дренажных труб является эллиптический синус Якоби (табл. 47), а соотношение между шагом и высотой волны должно быть $\approx 1,5$.

Таблица 47

$\frac{x}{S}$	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{40}$
$\frac{y}{S}$	0	0,335	0,323	0,254	0,216	0,144	0,118	0,06

Момент инерции сечения волны гофра, имеющего указанное соотношение параметров и очертание, найдем, подставив значения k ; $K(k)$ и $E(k)$ в (III.71).

Имеем

$$I = 0,0876 \delta S^3. \quad (\text{III.79})$$

Подставив в (III.62) значения I по (III.79), найдем условие прочности труб по допустимым деформациям:

$$|\psi| \geq \frac{0,715 \cdot 10^{-2} \bar{P} r^2 (1 - \mu_t^2) \xi}{\delta E_t S^2 k_1}. \quad (\text{III.80})$$

А из уравнения (III.69) определим условие обеспечения несущей способности труб, имеющих оптимальные параметры гофров и их очертание

$$\frac{P \xi}{100} \leq \frac{0,175 \cdot m_1 R_p \pi \delta S^2 k_1}{r(h + \delta)}. \quad (\text{III.81})$$

Расчетную толщину стенок по условию несущей способности вычислим с помощью зависимости

$$\delta \geq \frac{\bar{P} \xi r h}{17,52 m_1 R_p \pi S^2 k_1 - \bar{P} \xi r}. \quad (\text{III.82})$$

Толщину стенки по допустимым деформациям находим из неравенства

$$\delta \geq \frac{0,715 \cdot 10^{-2} \bar{P} r^2 (1 - \mu_t^2) \xi}{E_t S^2 k_1 |\psi|}, \quad (\text{III.83})$$

где k_1 — коэффициент уменьшения несущей способности трубопровода (коэффициент перфорации). Формулы (III.79—83) годны только для предварительных расчетов. Точные решения дают (III.62, 69, 76, 84).

Пример 3. Гофрированная дренажная труба, имеющая $D_n = 100$; $S = 7,5$; $h = 5,0$; $d_0 = 1,2$ и $S_0 = 7,5$ мм, воспринимает нагрузку $\bar{P} = 140$ кг/м. Модуль деформации грунта $E_{гр} = 1,0$ кг/см². Материал ПВП, $E_t = 1900$, $m_1 R_p = 130$ кг/см²; $\mu_t = 0,32$.

Найти необходимую толщину стенки δ при допустимой относительной деформации $|\psi| = 0,22$. Определим коэффициент уменьшения несущей способности трубопровода вследствие наличия перфорации

$$k_0 = 1 - \frac{d_0}{S_0} = 1 - \frac{1,2}{7,5} = 0,84.$$

Найдем по (III.79) момент инерции сечения гофра, приняв толщину его стенки $\delta = 0,08$ см:

$$I = 0,0876 \cdot 0,08 \cdot 0,75^3 = 0,00295 \text{ см}^4.$$

По уравнению (III.61) вычислим коэффициент уменьшения изгибающих моментов

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{0,125 \cdot 1 \cdot 5^3 (1 - 0,32^2)}{3 \cdot 1900 \cdot 0,00295 - 0,0179 \cdot 1 \cdot 5^3 (1 - 0,32^2)}} = 0,58.$$

Определим толщину стенки по (III.82), исходя из несущей способности трубопровода:

$$\delta = \frac{140 \cdot 0,58 \cdot 5 \cdot 0,5}{17,52 \cdot 130 \cdot 3,14 \cdot 0,75^2 \cdot 0,85 - 140 \cdot 0,58 \cdot 5} = 0,0695 \text{ см.}$$

и по (III.83) из допустимых деформаций

$$\delta = \frac{0,75 \cdot 10^{-2} \cdot 140 \cdot 0,58 \cdot 5^2 (1 - 0,32^2)}{1900 \cdot 0,75^2 \cdot 0,84 \cdot 0,22} = 0,0680 \text{ см.}$$

Примем $\delta = 0,7$ мм.

Как видим из приведенных примеров, предельные состояния по несущей способности и допустимым деформациям примерно равнозначны, поэтому трубы необходимо рассчитывать по обоим условиям.

При разработке конструкций дренажных труб обычно условия укладки (нагрузки), диаметры трубопроводов и размеры перфорации заданы. Параметры гофров и толщина стенки неизвестны. Следовательно, необходимые для расчетов момент инерции и коэффициент ξ предварительно определить нельзя. Если в уравнение (III.70) подставить значения S и I по (III.75) и (III.76), то получим

$$C = 0,0752 r \sqrt{\frac{P \xi (1 - \mu_t^2)}{\delta E_t k_1 [\psi]}}. \quad (\text{III.84})$$

Теперь, задавшись толщиной стенки из технологических или каких-либо других соображений и приняв $\xi = 1$, определим величину C и по (III.75) и (III.76) найдем шаг гофра (его высоту) и момент инерции. Далее, по най-

денным значениям S и I и уравнению (III.61), вычислим коэффициент ξ и решение повторим. В результате получим искомые величины S и h по допустимым деформациям. Полученное решение должно быть проверено по условию обеспечения несущей способности трубопровода (III.69) и при необходимости прокорректировано. Следует отметить, что какую бы начальную толщину стенки мы не приняли, найденные значения S и h будут оптимальными по расходу материала для заданных условий нагружения.

В табл. 48 приведены результаты расчетов по определению оптимальных параметров гофров пластмассовых дренажных труб, выпускаемых отечественной промышленностью. При этом приняты наиболее неблагоприятные условия работы дренажа: грунт — низинный торф ($\gamma = 1 \text{ т/м}^3$; $E_{\text{гр}} = 1 \text{ кг/см}^2$), глубина закладки дрен $h_0 = 2,0 \text{ м}$. Трубы из ПВХ, модуль упругости материала при расчетном сроке эксплуатации дренажа $t = 50$ лет, $E_t = 1850 \text{ кг/см}^2$. Перфорация — круглые отверстия $d_0 = 1,4 \text{ мм}$ с шагом $S_0 = 2S$ в шесть рядов. Допускаемая относительная деформация $[\varphi] = 0,22$.

Т а б л и ц а 48

Наружный диаметр труб $D_{\text{н}}$, см	Средний радиус r , см	Расчетная приведенная нагрузка $\bar{P}$, кг/м	Толщина стенки δ , см	S при $i=1$, см	Момент инерции $I \cdot 10^3$, см ⁴	...	S с учетом упругого оппора грунта, см	Размеры гофра, см	
								шаг S	высота h
5	2,46	97	0,08	0,347	0,414	0,603	0,269	0,30	0,20
8	3,95	152	0,11	0,600	2,940	0,714	0,517	0,48	0,32
10	4,94	189	0,13	0,774	7,470	0,763	0,676	0,64	0,43
12,5	6,18	233	0,15	1,007	18,940	0,805	0,900	0,85	0,56

Таким образом, наиболее экономичная форма гофров пластмассовых дренажных трубопроводов — эллиптический синус Якоби; отношение шага к высоте волны должно быть равным 1,5.

§ 6. Расчет гладкостенных дренажных труб

Момент сопротивления и момент инерции продольного сечения стенки этих труб на единицу длины выражаются зависимостями

$$W = \frac{\delta^2}{6}; \quad (\text{III.85})$$

$$I = \frac{\delta^3}{12}, \quad (\text{III.86})$$

где δ — толщина стенки.

Подставив указанные значения в (III.29), (III.41) и (III.44), получим следующие расчетные формулы: по допустимой деформации

$$[\psi] \geq \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \bar{P} \xi}{D_n A_2 k_1}, \quad (\text{III.87})$$

где

$$A_2 = \frac{E_t}{12(1 - \mu_t^2)} \left(\frac{\delta}{r} \right)^3; \quad (\text{III.88})$$

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{0,125 E_{rp}}{3A_2 - 0,0179 E_{rp}}}; \quad (\text{III.89})$$

$\bar{P}$ — расчетная приведенная нагрузка на единицу длины трубопровода, кг/см;
по несущей способности

$$\bar{P} \xi \leq m_1 R_p \frac{\pi}{6} \frac{\delta^2}{r} k_1, \quad (\text{III.90})$$

по устойчивости круговой формы

$$\frac{\bar{P}}{k_y D_n} \leq 2 \sqrt{3 A_2 p_t k_1}. \quad (\text{III.91})$$

Толщину стенки гладкостенной дренажной трубы определяют по методу подбора. Вначале задаются величиной

δ и находят ξ по (III.89). Затем вычисляют δ по формуле

$$\delta \geq \sqrt{\frac{6\bar{P}\xi r}{m_1 R_p \pi k_1}}. \quad (\text{III.92})$$

После этого расчет повторяют. Полученную в результате расчета толщину стенки проверяют по допустимым деформациям и устойчивости круговой формы.

Пример 4. Проверить прочность трубы $D_n = 140$ мм, имеющую толщину стенки $\delta = 3,5$ мм и продольно-параллельную щелевую перфорацию: $\tau = 0,8$; $l = 20$, $S_0 = 60$ мм (приложение VI). Дрену закладывают в торфянике ($\gamma = 1$ т/м³; $E_{rp} = 1$ кг/см²) на глубину $h_0 = 2,0$ м; ширина траншеи 50 см. Материал ПВП; при сроке службы дренажа $t = 50$ лет $E_t = 1850$, $R_p = 260$ кг/см². Допустимая деформация $[\psi] = 0,22$.

Вычислим средний радиус трубы

$$r = \frac{14,0 - 0,35}{2} = 6,98 \text{ см.}$$

Определим по уравнению (III.7) относительную жесткость трубопровода

$$\frac{1850}{1,0} \left(\frac{0,35}{6,98} \right)^3 = 0,237 < 1,0.$$

В данных условиях трубу следует считать гибкой. Найдем внешнюю приведенную нагрузку. В соответствии с заданными условиями:

$$\eta = 0,9 \text{ (табл. 43);}$$

$$H = h_0 - D_n = 2,0 - 0,14 = 1,86 \text{ м;}$$

$$k_{rp} = 0,63 \left(\text{рис. 47 при } \frac{H}{B} = \frac{1,86}{0,50} = 3,72 \right);$$

$$S_1 = 5, \kappa = 1 \text{ (трубопровод на плоском дне траншеи);}$$

$$\alpha_2 = 0,42.$$

В данном случае

$$\alpha_2 k_{\text{тр}} \left(\frac{B}{D_n} + 1 \right) = 0,42 \cdot 0,63 \left(\frac{0,5}{0,14} + 1 \right) = \\ = 1,24 > \alpha_1 = 1,1.$$

Следовательно, расчетная внешняя нагрузка на трубопровод от давления грунта определяется для условий укладки в насыпи.

По уравнениям (III.15) и (III.18) найдем коэффициенты k_n и k'_n , приняв $\epsilon_1 \text{tg} \varphi_n = 0,185$ и определив сначала A по (III.16) и $H_{p,0}$ по (III.19):

$$A = \frac{5 \cdot 0,14}{1,86} \left(2 - \frac{5 \cdot 0,14 \cdot 0,14}{1,86^2} \right) = 0,746;$$

$$H_{p,0} = 1,225 \sqrt{5 \cdot 1 \cdot 0,14} = 0,384;$$

$$k_n = 1 + 0,746 \cdot 0,185 = 1,137;$$

$$k'_n = \frac{1}{2 \cdot 0,185} \cdot \frac{0,14}{0,384} \left[1 - \exp \left(- \frac{2 \cdot 0,384}{0,14} \cdot 0,185 \right) \right] = \\ = 0,625,$$

Далее, по уравнению (III.22) и (III.23) определим расчетную нагрузку

$$P_n = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,86 \cdot 1,137 \cdot 0,14 = 2,66 \text{ кг/см};$$

$$P'_n = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,14 [1,86 - 0,384 (1 - 0,625)] = 2,16 \text{ кг/см}.$$

Примем в расчет $P_n = 2,66 \text{ кг/см}$.

Вычислим относительную жесткость трубы по (III.88):

$$A_2 = \frac{1850}{12(1-0,32^2)} \left(\frac{0,35}{6,98} \right)^3 = 0,022.$$

По уравнению (III.89) найдем коэффициент ξ :

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{0,125 \cdot 1}{3 \cdot 0,02 + 0,0179 \cdot 1}} = 0,401,$$

а по (III.59) — коэффициент «перфорации»:

$$k_{\text{ш}} = 1 - \frac{20}{60} = 0,667.$$

Определим относительную деформацию трубопровода по (III.87):

$$\frac{1,25 \cdot 10^{-3} 2,66 \cdot 0,401}{14 \cdot 0,022 \cdot 0,667} = 0,065 < [\psi] = 0,22.$$

Значит, условие прочности по допустимым деформациям выполняется.

Проверим условие прочности по несущей способности с помощью уравнения (III.90):

$$2,66 \cdot 0,401 \leq 0,5 \cdot 260 \cdot \frac{3,14}{6} \cdot \frac{0,35^2}{6,98} \cdot 0,667;$$

$$1,065 > 0,8.$$

Таким образом, условие несущей способности не выполняется, и на заданную глубину принятый трубопровод укладывать нельзя. Если в трубе не устраивать перфорацию или выполнить ее в виде круглых отверстий $d_0 = 1,4$ мм с шагом $S_0 = 14$ мм, то несущая способность будет обеспечена.

Проверим устойчивость круговой формы кольца трубы по (III.91):

$$\frac{2,66}{0,6 \cdot 14} \leq 2 \sqrt{3 \cdot 0,022 \cdot 1,0 \cdot 0,667};$$

$$0,317 < 0,42.$$

Условие прочности по устойчивости кольца выполняется.

§ 7. Испытания дренажных труб на прочность

При промышленном изготовлении на заводах и конструировании новых образцов кроме теоретических расчетов прочности дренажных труб необходимы натурные испытания статическими, ударными нагрузками и испытания на изгиб. Они должны быть краткосрочными, нетру-

доемкими и в то же время давать надежные результаты. Однако в настоящее время по этому вопросу нет единого мнения. Если почти все авторы сходятся в том, что механические испытания труб можно проводить при одноосном сжатии и без грунта, то интенсивность давления, скорость нагружения и длительность опытов предлагаются самые разнообразные. Так, в ФРГ дренажные трубы из ПВХ диаметром 40—50 мм испытывают при линейной одноосной нагрузке в 1 кг/пог. см при температуре 0°. При этом укорачивание вертикального диаметра за 65 суток не должно превышать 20% [73, 74]. В английском проекте стандарта на дренажные трубы $D_n \leq 10$ см предусмотрены [68] следующие испытания: 1) кратковременное (2—3 мин.) сжатие образца длиной 20 см между параллельными пластинами с усилием 0,91 кг/пог. см; прочность трубы считается достаточной, если вертикальная деформация ее не превышает 3,2 мм; испытание имитирует работу трубопровода непосредственно после его засыпки в траншею и наезде на дренаж сельскохозяйственной машины; 2) сжатие образца длиной 20 см между параллельными пластинами с усилием 0,6 кг/пог. см в течение не менее 7 суток до достижения скорости приращения деформации ниже 5% за 3 суток; прочность трубы считается достаточной, если укорачивание вертикального диаметра не превышает 40%; это испытание имитирует действие грунтовой нагрузки.

В СССР пока нет стандарта на испытания пластмассовых дренажных труб. По ВТУ 3—3—68 на гофрированные трубы из ПВХ предусмотрены кратковременные механические испытания на одноосное сжатие между двумя пластинами, радиус внутренней поверхности которых равен диаметру испытываемой трубы (рис. 50). Длина образца принята равной $3 D_n$, но не ниже 20 см. Расчетная нагрузка определяется зависимостью

$$P = \lambda D_n l,$$

где D_n — наружный диаметр трубы, см;

l — длина образца, см;

λ — коэффициент интенсивности нагрузки, кг/см².

Для труб, применяемых в зоне осушения, $\lambda = 0,2$ кг/см², что является максимальной приведенной нагрузкой при глубине заложения дрен до 1,8 м. Испытания проводят при температуре $20 \pm 2^\circ$. Внешняя нагрузка прилагается ступенями по 5 кг через 5 минут до достижения расчет-

ной, которую затем выдерживают 1 час. Трубы считают выдержавшими испытания, если укорачивание вертикального диаметра не превышает 12% и нет других повреждений (трещин, изломов, закрытия перфорации и др.).

Трубы из поливинилхлорида отличаются значитель-

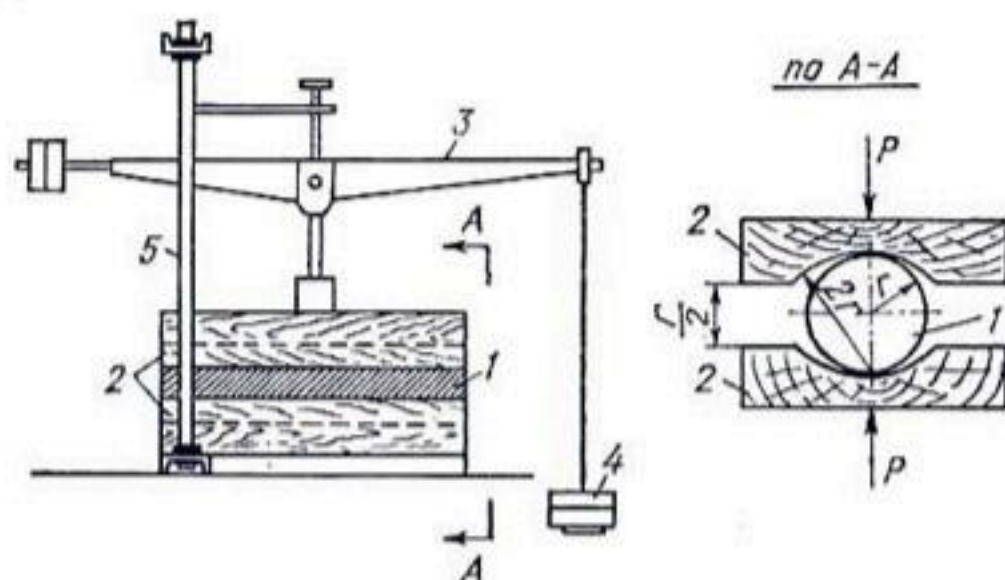


Рис. 50. Прибор для ускоренных испытаний труб на деформацию: 1—труба; 2—деревянные колодки-прессы; 3—рычаг; 4—груз; 5—стойка.

ной хрупкостью, иногда повреждаются при засыпке траншей бульдозером, если температура воздуха низкая и над ними отсутствует присыпка. В связи с этим для труб из ПВХ предусмотрены испытания на ударную прочность. В ФРГ их подвергают испытанию на удар металлическим молотом весом 400 г с радиусом закругления грани 3,5 см, падающим с высоты 75 см. Трубы считаются выдержавшими испытания, если при $t=0^\circ$ после 2—3 ударов не обнаружено трещин [72].

Трубам из ПВХ ударные нагрузки не опасны и поэтому соответствующие испытания не проводятся.

Во время укладки труб в траншеи в их стенках возникают значительные изгибающие усилия. При этом жесткие трубы могут потерять прочность, у перфорационных отверстий образуются изломы и трещины. Кроме того, к трубам малых диаметров предъявляется требование сворачиваться в бухты небольших размеров. Все это диктует необходимость проведения испытаний на изгиб. При таких испытаниях отрезки труб длиной 2—3 м протаскивают через изогнутые с определенным радиусом шаблоны. Так, гладкостенные трубы из ПВХ и ПВХ, поставляемые в отрезках, должны при $t=0^\circ$ проходить без повреждений через шаблон, радиус изгиба

которого равен 1,75 м. Для поставляемых в бухтах труб радиус испытательного шаблона равен 0,75 м. При этом не должны образовываться трещины в стенках, раскрыться щели, появляться изломы и перегибы.

Указанные выше методы испытаний труб диктуются условиями работы и технологическими особенностями строительства пластмассового дренажа.

Глава IV. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛАСТМАССОВОГО ДРЕНАЖА

§ 1. Приемка, транспортировка, хранение труб

Строительство горизонтального трубчатого дренажа на осушаемых землях связано с выполнением подготовительных, вспомогательных и основных работ. Основные операции включают: рытье траншей с поддержанием требуемого уклона дна, укладку дренажных трубопроводов, защиту их от заиления, предварительную присыпку траншей, контроль за качеством работ и соответствием проекту, окончательную засыпку. К подготовительным работам относятся: переноска проекта на местность, подготовка трассы и доставка материалов. Вспомогательные операции связаны с перевозкой механизмов, их ремонтом и обслуживанием. При строительстве пластмассового дренажа подготовительные и вспомогательные работы ничем существенно не отличаются от аналогичных при укладке гончарных трубок. Исключение составляют работы, связанные с приемкой, транспортировкой, складированием и хранением.

Получая трубы на заводах или принимая прибывшие в СМУ партии, надо их осмотреть и установить соответствие ВТУ на изготовление. Каждая партия (бухта) имеет паспорт, в котором указывают: завод-изготовитель, материал, наружный диаметр, толщину стенок труб и вес. Трубы должны иметь круглую форму, равномерную толщину стенок по сечению без односторонних утоньшений, не иметь переломов и глубоких царапин. Особое внимание следует обратить на качество перфорации. Трубы, в которых отсутствует предусмотренное ВТУ количество отверстий или они малы, принимать нельзя.

Погрузочно-транспортные работы по доставке пластмассовых труб, в отличие от керамических, не трудоемки. Перевозят их в основном автотранспортом, в автомашины грузят с помощью кранов. Разгружают трубы на складах СМУ и участков вручную. Время на погрузку и разгрузку не превышает 15 минут. При этом не следует допускать ударов и переломов. Трубы, свернутые в бухты, перевозят поставленными на ребро на автомашинах с прицепами и нарощенными бортами. На автомашину марки МАЗ-524 с прицепом вмещается до 4 км труб диаметром 50 мм, на ЗИЛ-130 с прицепом — 3,6, на ГАЗ-51 с прицепом — 2 км. Трубы в отрезках укладывают в автомашины штабелем, высота которого не должна превышать 1,5 м. При длине труб, превышающих длину кузовов более чем на 1,0 м, применяют прицепы или деревянные щиты, укладываемые на пол кузовов. При перевозке пластмассовых труб необходимо соблюдать меры предосторожности от механических повреждений. Кузова транспортных средств не должны иметь островыступающих деталей, не быть загрязненными машинным маслом, бензином и т. п. При правильной транспортировке отходы практически очень малы. Несоблюдение мер предосторожности при перевозке и особенно когда разгрузка осуществляется «по методу сбрасывания», отдельные участки труб повреждаются, образуются трещины, вмятины, переломы. Дефектные участки нужно вырезать, а концы срастить муфтами. В противном случае, уложенные в траншеи, они могут быстро потерять прочность, что приведет к выходу дренажа из строя. Дефектные отрезки можно собрать и сдать на завод для вторичной переработки. К сожалению, этого пока никто не делает.

Для развозки и раскладки труб на строительном участке используют в основном тракторные прицепы. При этом заняты тракторист и 1—2 рабочих вместо 4 при развозке гончарных трубок. За смену бригада при дальности возки до 1 км может развести и разложить до 8 км пластмассовых труб, вместо 2—3 км гончарных. Общие трудозатраты при транспортировке и раскладке пластмассовых труб сокращаются в 4—6 раз по сравнению с гончарными.

Так как под действием прямых солнечных лучей происходит так называемое «старение» термопластов, приводящее к увеличению их жесткости и некоторой потере прочности, хранить пластмассовые трубы нужно в закры-

тых помещениях или под навесами. По этим же причинам хранение на складах СМУ и участков более одного строительного сезона не желательно. При кратковременном хранении трубы на строительных участках следует прикрывать ветками, соломенными матами, брезентом и другими местными материалами или укладывать под навесы.

Бухты и пачки труб следует складывать в штабеля высотой не более 1,5 м на деревянные стеллажи или подкладки. При большей высоте штабеля нижние трубы могут деформироваться. Во избежание искривлений трубы в отрезках укладывают плотно одна к другой.

В зимнее время на складах СМУ и участков трубы следует хранить в неотапливаемых складских помещениях или под навесами. Развозка их по трассам дрен и к экскаваторам производится только в день их укладки. Летом раскладывать трубы по трассам дрен более чем за 2 суток до укладки в траншеи не рекомендуется во избежание чрезмерного нагревания на солнце и возможных механических повреждений.

§ 2. Производство строительных работ

Пластмассовый дренаж в СССР укладывают почти исключительно с применением широкотраншейных экскаваторов ЭТЦ-202 и ЭТН-171, которые предназначены для закладки гончарного дренажа. В 1968—1969 гг. Таллинский экскаваторный завод выпустил опытную партию специальных узкотраншейных экскаваторов ЭТЦ-163, которые при испытаниях показали вполне приемлемые эксплуатационные характеристики по закладке пластмассового дренажа.

Дреноукладчик ЭТЦ-163 — узкотраншейный экскаватор на гусеничном ходу (рис. 51). Рабочий орган — скребковая цепь. С левого по ходу бока установлен опускающийся кронштейн, на котором укреплен раздвижной барабан для навески бухт пластмассовых труб. Скребок-экскаватор ЭТЦ-163 установлен на шасси ЭТЦ-202 и имеет бесступенчатый гидравлический привод рабочего хода, автоматическую систему поддержания глубины по копирному тросику, устройство для защиты укладываемых труб стеклохолстом. Грунт, вырабатываемый экскаватором, укладывается шнековым отвалообразовате-

лем по обе стороны от траншеи. Глубина копания траншеи составляет 1,7, ширина — 0,25 м. Рабочие скорости на первом диапазоне 14—250, на втором 34—590 м/час.

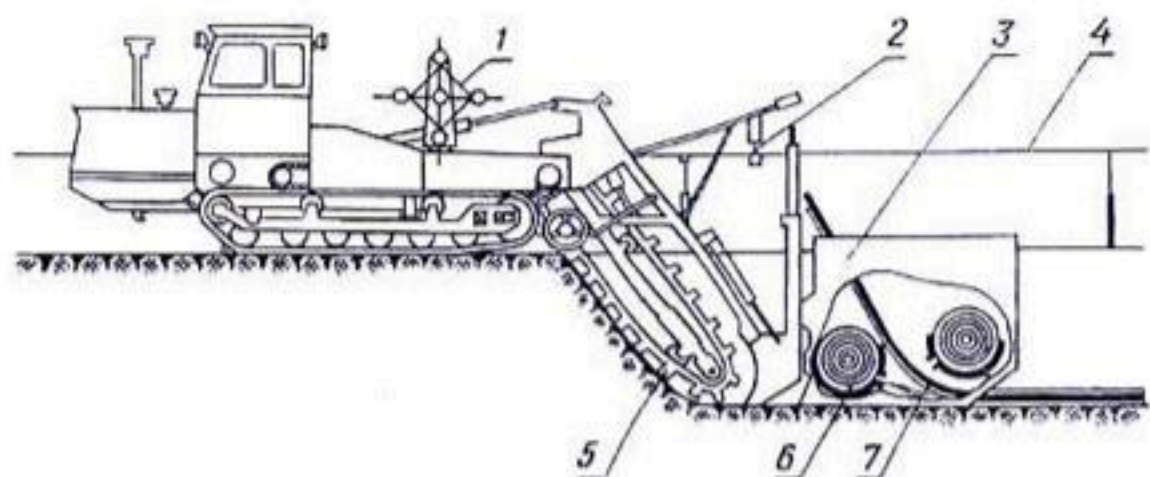


Рис. 51. Схема экскаватора-дреноукладчика ЭТЦ-163:

1 — барабан для пластмассовых труб; 2 — датчик; 3 — трубоукладчик; 4 — копирный трос; 5 — рабочая цепь; 6 — бобина рулонного фильтрующего материала (стеклохолста); 7 — спускной желоб.

Экскаваторы ЭТЦ-202 и ЭТН-171 укладывают гофрированные и гладкостенные пластмассовые трубы, свернутые в бухты, двумя способами:

1. Механизированно из разворачиваемой бухты, навешенной на специальном барабане.

2. Механизированно с предварительной разверткой труб из бухт и укладкой по трассам дрен.

Первый способ требует установки на указанных дреноукладчиках следующего дополнительного оборудования:

а) раздвижного барабана на консольном поворачиваемом кронштейне в передней части экскаватора с левого по ходу бока или по центру (рис. 52);*

б) прижимного профилированного ролика на выходе трубы из ящика-трубоукладчика.

Барабан служит для навески бухты, ролик — для фиксирования дренажной трубы по центру и плотной ее укладки в желобок на дне траншеи. При движении экскаватора закрепленная у устья пластмассовая труба, сматываясь с барабана, укладывается в желобок и плотно прижимается ко дну траншеи роликом. Анкеруется она деревянной рейкой или рукой, пока экскаватор не пройдет 10—15 м и этот участок не будет присыпан слоем грунта толщиной 15—20 см.

* Выпускаемый с 1972 г. экскаватор ЭТЦ-202А имеет специальное оборудование для укладки пластмассового дренажа

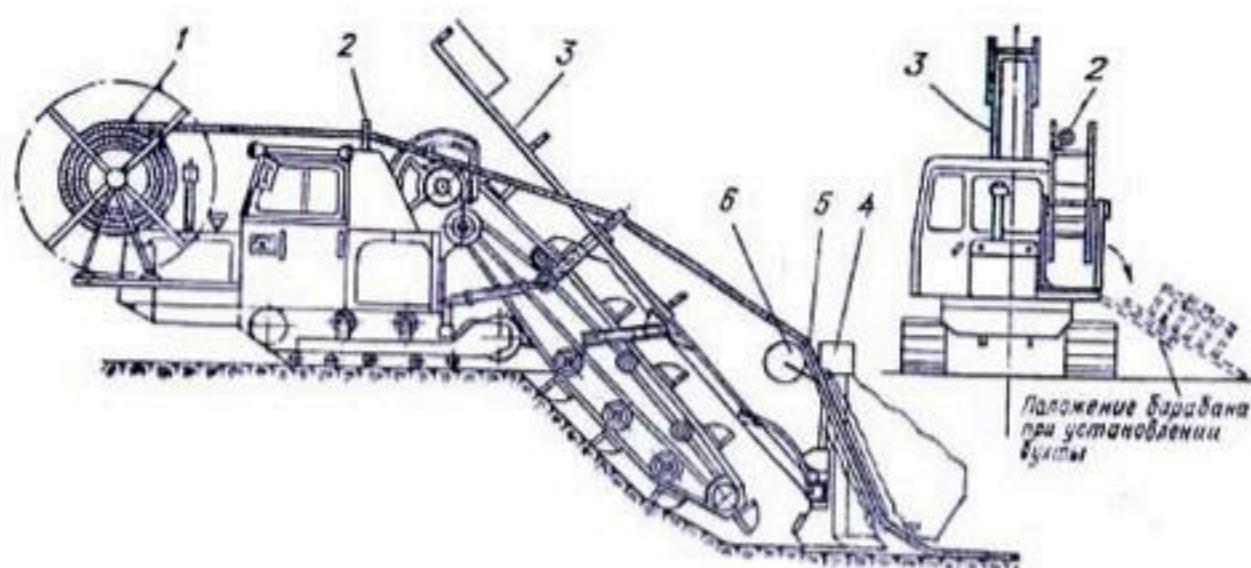


Рис. 52. Схема экскаватора-дреноукладчика ЭТЦ-202 с дополнительным оборудованием:

1 — барабан; 2 — кронштейн; 3 — лоток; 4 — ограничитель; 5 — направляющая; 6 — бобина.

При втором способе, т. е. когда трубы предварительно разложены по трассе, на экскаваторы ЭТЦ-202 и ЭТН-171 взамен барабана устанавливают 2—3 поддерживающих пропускных кольца (рис. 53). Кольца диаметром 200 мм делают из полиэтиленовых труб $D_n = 20—27$ мм или другого материала и укрепляют на металлических держателях около фары и еще в 1—2 местах. Не рекомендуется их делать из проволоки или полосовой стали, т. к. они будут царапать трубы. Гибкие гофрированные трубы можно раскладывать рядом (в 3—4 м) с трассой дрены, а пропускное кольцо устанавли-

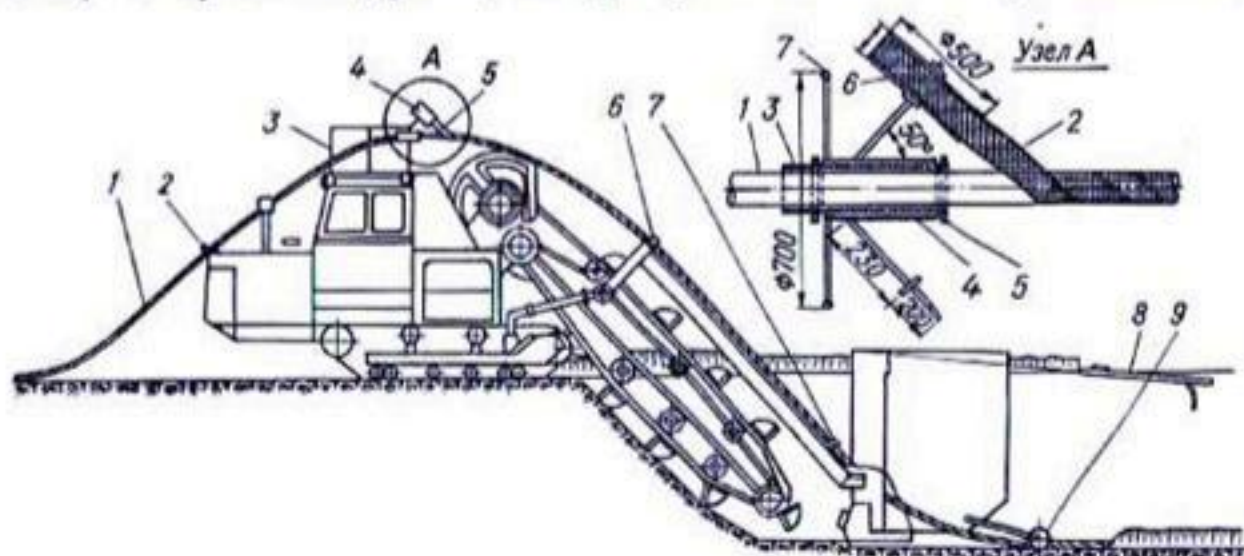


Рис. 53. Схема экскаватора-дреноукладчика ЭТЦ-202 с дополнительным оборудованием:

1 — труба; 2 — направляющее кольцо; 3 — ограждение; 4 — обертывающее устройство; 5 — стеклохолст; 6, 7 — направляющие ролики; 8 — присыпное устройство; 9 — прижимной ролик.

вать на ящике трубоукладчика сверху. В этом случае при движении экскаватора труба поднимается с земли и, проходя через кольцо, попадает в ящик-трубоукладчик и далее, проходя под прижимным роликом, укладывается на дно траншеи. Однако при таком способе необходимо иметь одного дополнительного рабочего, который должен следить за продвижением трубы и при необходимости направлять ее. Если труба проходит по пропускным кольцам через верх экскаватора, надобность в дополнительном рабочем отпадает.

По трассам дрен трубы можно раскладывать двумя способами:

а) бухта укладывается на горизонтальный барабан, установленный на деревянных санях или листе-волокуше, прикрепленном к трактору; конец трубы закрепляется у проектного устья дрены или ее истока и при движении трактора она, разматываясь с барабана, ложится по трассе дрены;

б) двое рабочих вручную раскатывают бухту по трассе дрены, следя за тем, чтобы не образовывалось переломов и резких изгибов.

Укладка труб в отрезках имеет свои особенности и может осуществляться различными способами. Трубы малых диаметров с предварительно надетыми на один конец соединительными муфтами кладутся на рамные кронштейны или наклонные площадки-лотки, установленные на экскаваторе (рис. 52). В ходе отрывки траншей рабочий берет трубу с лотка и, пропуская ее в ящик трубоукладчика под ролик, проталкивает вниз, сообразуясь со скоростью движения экскаватора. Когда концевая муфта первой трубы опустится до уровня 1,0—1,2 м от поверхности почвы, он берет с кронштейна следующую и вставляет ее конец в муфту первой и т. д. Таким способом можно укладывать трубы диаметром 40—50 мм.

При строительстве дренажных коллекторов используют трубы больших диаметров (65—140 мм). Поставляются они в прямых отрезках по 4—6 м длины. Укладывают их в отрытые траншеи вручную, сращивают с помощью муфт. Пластмассовые дрены к таким же коллекторам подсоединяют с помощью тройников. При отсутствии соединительных тройников, а также в случае подключения пластмассовых дрен к гончарным коллекторам сочленения осуществляют через 1—2 керамические трубы по типу «нахлестка» (рис. 54). Места подсоединения

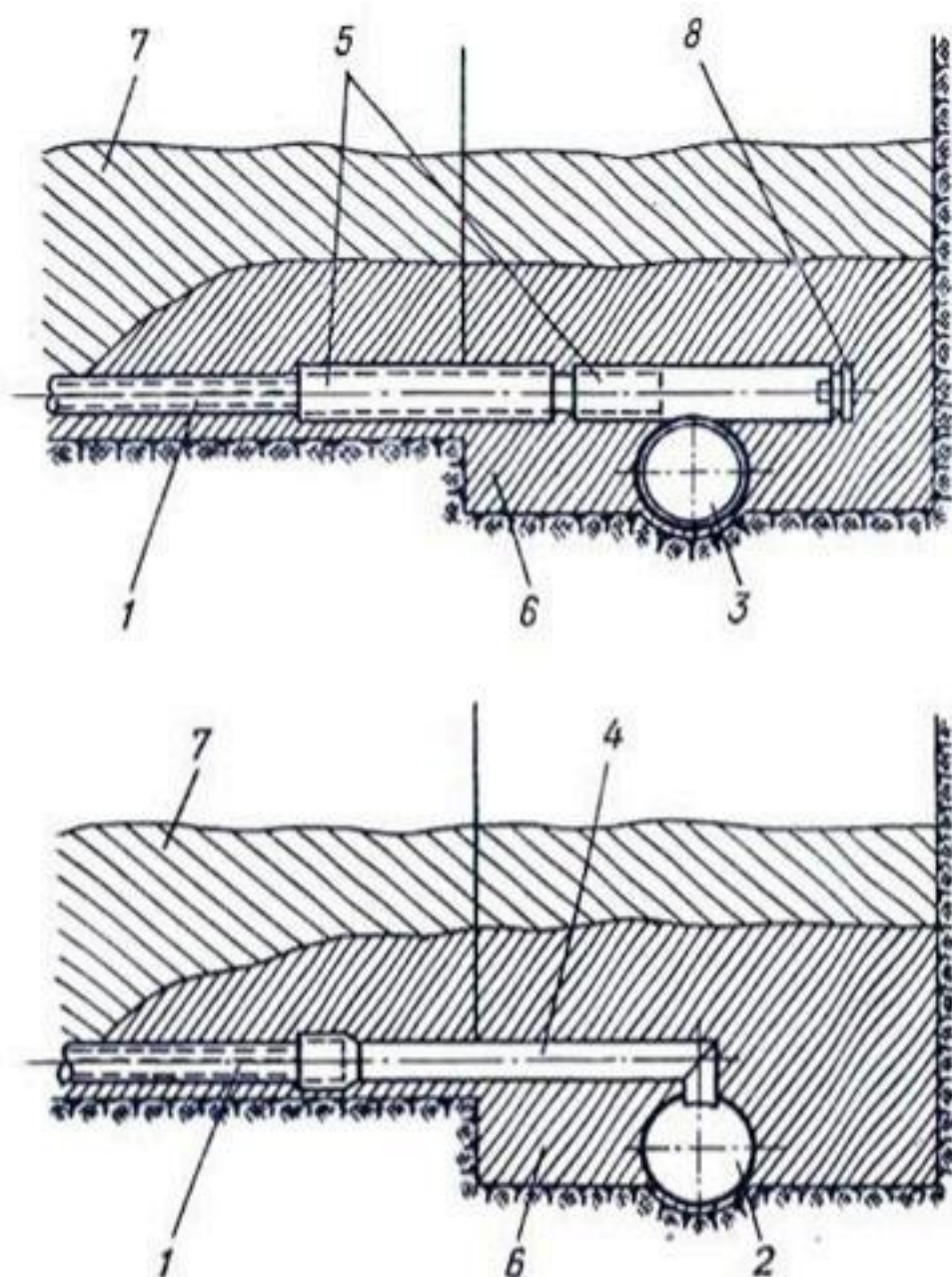


Рис. 54. Схема подсоединения дрен к коллекторам:

1 — пластмассовая дрена; 2 — пластмассовый коллектор; 3 — гончарный коллектор; 4 — пластмассовый уголок; 5 — гончарная трубка $D=50$ мм; 6 — тщательно утрамбованный грунт; 7 — засыпка; 8 — пробка.

тщательно обвертывают фильтрующим материалом (стеклохолстом, мхом и т. п.), присыпают грунтом слоем 20—30 см и утрамбовывают. Следует особое внимание уделять правильности проведения работ по сочленению пластмассовых труб. Известны случаи, когда дрены подключают путем вырезания в боковой стенке коллекторной трубы отверстий и вставки в них концов дрен до упора в противоположную стенку. Сечение коллектора уменьшается на 50—70% и, как правило, быстро закупоривается наносами или железистыми соединениями. Нередко при отсутствии соединительных муфт сращивание проводят путем устройства продольного разреза длиной

15—20 см на одном конце трубы, сжатия его и вставки внутрь предыдущей. Этим существенно уменьшается сечение трубопровода. Когда нет муфт сращивать следует таким образом: от трубы отрезать кусок длиной 15—20 см, разрезать по образующей и надеть на 7—10 см на конец ее; последующую трубу вставить во второй конец такой импровизированной муфты и т. д. Узел обернуть фильтрующим материалом и присыпать слоем грунтов 20 см с последующей укаткой. Все уложенные в траншеи трубы должны быть немедленно присыпаны рыхлым грунтом слоем не менее 20 см. Окончательную засыпку траншей можно производить бульдозером.

Дополнительное оборудование и описанная выше технология строительства пластмассового дренажа позволяют на 1—2 человека (по сравнению с укладкой гончарных трубок) сократить бригады рабочих, обслуживающих экскаваторы ЭТЦ-202 и ЭТН-171. Бригада состоит из 5—6 человек: бригадир-нивелировщик, машинист, его помощник и 2—3 рабочих. Бригадир и один рабочий разбивают трассы дрен, нивелируют и натягивают копирный трос, проверяют правильность уклонов уложенных дрен. Машинист и помощник обеспечивают работу экскаватора, 1—2 рабочих следят за укладкой труб, сочленяют их, защищают дрены от заиливания, присыпают трубы и осуществляют другие подсобные работы. При одновременной работе на участке двух экскаваторов разбивку и нивелировку трасс делает мастер с помощником и состав бригад можно сократить до 3—4 человек.

Узкотраншейный экскаватор ЭТЦ-163 предназначен для укладки труб, поставляемых в бухтах, и имеет соответствующее оборудование. Технологический процесс ничем существенно не отличается от вышеописанного первого способа. Обслуживающая ЭТЦ-163 бригада состоит, как правило, из 5 человек. При правильной организации работ вполне достаточно и 3 человек.

Появившийся ранее других бестраншейный способ строительства пластмассового дренажа, несмотря на несомненные преимущества, пока не получил широкого распространения. В СССР наиболее известен бестраншейный дреноукладчик ДПБН-1,8, конструкции ВНИИГиМ. Строительство бестраншейного дренажа с использованием ДПБН-1,8 осуществляется следующим образом. Перед началом прокладки дрен трубы наматывают на барабан дреноукладчика. Затем нож его заглубляется на

нужную глубину и далее при движении трактора труба, сматываясь с барабана и проходя через полый нож, укладывается на дно щели. Обслуживают ДПН-1,8 пять человек.

Применение пластмассовых труб взамен гончарных позволяет на 20—40% увеличить производительность экскаваторов ЭТЦ-202 и ЭТН-171 [29, 32]. При этом трудозатраты уменьшаются в 1,5—2 раза. Так, на беспнистых торфяниках затраты труда на укладку 1 км дренажа составляли 106,4, а пластмассового 56,2 чел-час. Наиболее технологичны гофрированные трубы, свернутые в бухты. Укладка пластмассовых труб в хлыстах более трудоемка, а в неустойчивых грунтах при частых обвалах откосов траншей даже сложнее, чем гончарных. Производительность узкотраншейного экскаватора в среднем на 19% выше, чем ЭТЦ-202, отрывающего траншею шириной 50 см. Преимущества ЭТЦ-163 состоят в повышенной степени механизации укладки дренажа, относительно небольшой повреждаемости пашни и большой скорости разработки грунта. Эта машина со временем должна стать основной для укладки пластмассового дренажа.

Основные преимущества бестраншейного способа строительства пластмассового дренажа состоят в отсутствии процесса отрывки и засыпки траншей. При этом практически не повреждается пахотный слой почвы. Однако простои машин, вызываемые необходимостью отрывки шурфов при сочленении труб и преодолении препятствий в виде погребенных корчей и валунов, а также большие затраты времени на переезды и подключение дрен к коллекторам, приводят к тому, что производительность бестраншейных машин пока мало отличается от траншейных. Проложенные бестраншейным способом дренажи часто имеют значительные отклонения от проектных отметок, участки с обратными уклонами достигают 30%. Контроль качества проложенного дренажа затруднен, исправить допущенные ошибки практически невозможно. Перспективность бестраншейного способа строительства пластмассового дренажа бесспорна. Однако бестраншейные машины не смогут конкурировать с узкотраншейными, пока не будут сконструированы уклонодатчики, обеспечивающие отклонения дрен менее ± 2 см от проектных отметок при скорости укладки 300—400 пог.м/час. Кроме того, необходим мелиоративный тягач, способный развивать тяговые усилия 20—25 т.

В настоящее время более производительными и обеспечивающими лучшее качество дренажа являются траншейные дренаукладчики с активным рабочим органом. Ширина траншей должна составлять 25—35 см. Более узкие траншеи не позволяют заметно увеличить скорости разработки грунта, но вызывают значительные затруднения при засыпке дренажа, осуществлении сочленений труб и исправлении допущенных отклонений от проектных отметок. В современных дренажных системах 80—90% по протяженности составляют дрены-осушители из труб диаметром 40—60 мм. Наиболее рационально укладку их осуществлять узкотраншейными экскаваторами. Для укладки коллекторов необходимы машины с шириной траншей 40—50 см. При более узких траншеях возникают значительные трудности с подключением дрена к коллекторам. В связи с этим следует создавать комплексные бригады, состоящие из 1 ЭТЦ-202 и 2 ЭТЦ-163. Это позволит сократить количество рабочих до 3—4 человек, повысить общую производительность машин и снизить стоимость строительства дренажа.

§ 3. Защита дренажа от заиления

Проектирование и строительство горизонтального трубчатого дренажа на осушаемых землях неразрывно связано с применением специальных мер по защите его от заиления. Под термином «заиление дренажа» понимается совокупность таких отрицательно влияющих на его работу процессов, как полная или частичная закупорка полости труб минеральными зернами грунта, отложениями железистых соединений и солей, а также механический, биологический и химический кольматаж водоприемных отверстий, защитных фильтров и сводообразующей области. Причинами заиления дренажа являются: большие градиенты фильтрационного напора, некачественное строительство, приводящее к образованию недопустимо больших водоприемных отверстий, отсутствие, неправильный подбор и укладка защитных фильтров, недостаточные скорости движения воды в дренах, окислительные процессы при аэрации дренированной воды и др.

Экспериментальные исследования показывают, что в придренной области под действием гидродинамических

сил возникают градиенты фильтрационного потока, нередко превышающие значения 20—30, что намного больше критических по условиям фильтрационной прочности грунтов. В результате, естественные несвязные и связные грунты подвергаются следующим фильтрационным деформациям: истечению грунтовой массы, суффозии, контактному выпору и размыву. При отсутствии фильтров вокруг дрена избежать истечения грунтовой массы в полость труб в несвязных грунтах практически невозможно. Количество поступающих в дрена наносов зависит от условий сводообразования в контактной области. Для предотвращения механического заиления в опасных размерах необходимо обеспечить формирование устойчивых сводов над водоприемными отверстиями дрена из частиц окружающего грунта. Перфорация в трубах должна иметь такие размеры, чтобы в грунте сводообразующих частиц было не меньше 20% при круглых отверстиях и 40% при длинных щелях. Суффозионные частицы должны свободно проходить через слой фильтра вокруг дренажных труб, в противном случае будет происходить кольматация его. Средний диаметр пор фильтра должен быть не менее чем в 3—4 раза больше диаметра суффозионных частиц. Для нормальной работы дренажа водопроницаемость фильтра должна быть минимум в 3—5 раз больше водопроницаемости осушаемого грунта.

Многочисленными обследованиями дренажных систем, построенных в разное время и в различных почвенно-геологических условиях, установлено, что в одних случаях дрена, проработавшие 20 лет и более, не заилены, несмотря на отсутствие защиты, в других — при наличии фильтров трубы за 1—2 года почти полностью забивались песчаными наносами. Иногда, несмотря на отсутствие наносов в полости труб, дренаж плохо функционирует.

Основными факторами механического заиления дренажа являются: гранулометрический состав грунта, в котором укладывается дренаж, конструкция дренажных труб, их качество, размер и форма водоприемных отверстий, качество и технология дренажных работ, уклон дренажных линий и обусловленные им скорости движения воды в трубах, материал фильтров и способ его укладки, подтопление дренажных систем со стороны открытых каналов. Наибольшая опасность механического заиления дренажа возникает при укладке его в мелкозерни-

стых и пылеватых песчаных грунтах, плавунках и легких супесях. В грунтах тяжелого механического состава (глины и суглинки), а также в торфе дренаж, как правило, не заилется. Эти грунты обладают большой связностью и фильтрационные деформации в них могут происходить только при очень больших градиентах. При ширине водоприемных отверстий в трубах до 3—4 мм истечение грунтовой массы, контактный выпор и размыв, а также механическая суффозия в этих грунтах исключены: кольматажа искусственных фильтров можно не опасаться.

При современных темпах строительства и качестве керамических трубок размер стыковых зазоров между ними колеблется в очень больших пределах и практически является случайной величиной. Обследованиями дренажных систем Белоруссии установлено, что между трубками малых диаметров ширина стыковых зазоров более 3 мм составляет 16, а при диаметре труб 125 мм — 42%. Максимальная ширина щелей между гончарными трубками нередко равняется 6—9 мм. Практически избежать зазоров между отдельными трубками менее 4—5 мм невозможно даже при очень тщательной укладке. Опасность механического заиления полости гончарных трубок в несвязных грунтах велика и в большинстве случаев укладывать их без фильтров недопустимо. Большие колебания ширины зазоров между керамическими трубками делают неопределенными расчеты по подбору обратных фильтров из сыпучих материалов. Расчеты по средним величинам зазоров проводить нельзя, т. к. не будет обеспечена надежность защиты, а при расчетах на максимальные зазоры в некоторых случаях необходимо укладывать двухслойные фильтры, что практически осуществить в мелиоративном дренаже невозможно. Поэтому при строительстве гончарного дренажа в качестве фильтров нужны преимущественно структурные материалы (стеклохолст, мох и т. п.); укладывать их следует по всему периметру стыков.

В пластмассовых дренажных трубах перфорацию в виде круглых отверстий и коротких щелей устраивают на заводе, поперечные размеры ее строго регламентированы техническими условиями и редко превышают 1,5 мм. В средне- и крупнозернистых песчаных грунтах пластмассовые трубы допустимо укладывать без фильтров. Опасность механического заиления труб с круглыми отверстиями намного ниже, чем с продольными щелями, т. к.

условия сводообразования над ними более благоприятны. По исследованиям С. К. Абрамова [1, 2], в однородных мелкозернистых грунтах диаметры круглых отверстий в трубах из условия сводообразования могут быть в 1,4 раза больше, чем ширина щелей. Поэтому для пластмассовых дрен предпочтительнее круглые или овальные водоприемные отверстия. Нередко правильно запроектированный и качественно построенный закрытый дренаж не оказывает достаточного осушительного действия: грунтовые воды стоят близко к поверхности, а модуль дренажного стока значительно меньше расчетного. В то же время дренажные трубы не заилены. Причиной слабого осушительного действия их в таком случае является неправильная технология укладки.

В настоящее время строительство дренажа осуществляется следующим образом: одновременно с отрывкой траншей укладывают трубы, укрывают (там где необходимо) защитным фильтром и немедленно присыпают слоем (10—15 см) рыхлого грунта. Окончательно траншеи засыпают спустя несколько дней, а иногда и недель, пока технадзор не проверит качество работ. Такая технология не вызывает особых возражений, если на участке строительства грунтовые воды стоят глубоко и нет дождей. Однако весьма часто, особенно весной и осенью, дренаж закладывают 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 приводит 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 фильтру. Происходит довольно быстрый кольматаж отверстий или фильтров. В хорошо разложившихся торфяниках, супесях, легких пылеватых суглинках и других легко размываемых грунтах происходит также разжижение слоя присыпки с образованием однородной грунтовой массы, которая, двигаясь к дренам, кольматирует фильтры или водоприемные отверстия в трубах [35]. Практически то же происходит и тогда, когда дренаж укладывают в воду.

Результатом указанных выше процессов, обусловленных неверной технологией строительства, является то, что дренаж плохо функционирует и не справляется своевременно с отводом грунтовых вод.

Чтобы избежать кольматажа отверстий труб или их защитных фильтров, дренаж следует укладывать насухо и по возможности быстро (лучше сразу же) засыпать траншеи 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 увеличении производительности работ.

Защитные фильтры не только предохраняют дрены от заиливания, но и значительно увеличивают приток воды к ним вследствие изменения структуры грунтового потока. Однако это не единственная причина влияния фильтра на увеличение дренажного стока в несвязных грунтах. При отсутствии защиты, а также при применении фильтров из сыпучих материалов неизбежно происходит заклинивание водоприемных отверстий дрен. Степень заклинивания зависит от соотношения размеров и формы отверстий и гранулометрического состава грунта (сыпучего фильтра). Экспериментально установлено, что заклинивание частиц грунта в перфорациях уменьшает приточность воды на 11—64%. Максимальному заклиниванию подвержена перфорация, имеющая конусность, направленную внутрь трубы. Приточность воды может уменьшаться в десятки и сотни раз. Если же фильтр выполнен из структурных материалов (стеклохолст, стекловата, мох и т. п.), то заклинивание отверстий зернами грунта практически исключается, так как проходящие через фильтр суффозионные частицы не могут защемляться в перфорации из-за очень небольших размеров. Положительное влияние фильтров на приточность воды к дренам вызывает необходимость применения их во всех связных и несвязных грунтах, может быть только за исключением средне- и крупнозернистых, хорошо водопроницаемых. При этом предпочтение следует отдавать структурным фильтрационным материалам.

При закладке дренажа в суффозионных грунтах филь-

тры из структурных материалов должны удовлетворять следующим условиям:

1. Минимальная водопроницаемость фильтра после окончания деформационных процессов в нем должна быть, как минимум, в 3 раза больше водопроницаемости окружающего грунта.

2. Поры и фильтрационные ходы в фильтре должны обеспечивать непротекание (сводообразование) частиц скелета грунта и после уплотнения фильтра быть не менее чем в 3,3—4,4 раза больше суффозионных частиц грунта.

3. На контакте грунта с фильтром не должно происходить существенных деформаций в нем.

Кроме того, материал фильтра должен быть дешевым, длительно устойчивым к агрессивным грунтовым водам (окислительному и биологическому разрушению) и обеспечивать незаиляемость дренажа в течение расчетного срока эксплуатации; позволять механизировать укладку, иметь малый вес и габариты. По исследованиям автора [32, 33], Н. Г. Пивовара [40, 41] и Е. Г. Сапожникова [45, 46], наиболее приемлем в качестве фильтра стекловолоконный холст типа ВВ. Выпускаемые отечественной промышленностью стеклохолсты ВВ-Г и ВВ-Т имеют водопроницаемость 0,53—0,68 см/сек, что во много раз превышает фильтрационную способность всех встречающихся в осушении грунтов. Средний диаметр фильтрационных ходов равен 0,2 мм, что обеспечивает непротекание скелета практически всех несвязных грунтов и некольматируемость стеклохолстов в грунтах, диаметр суффозионных частиц которых $d_{cl}^{max} \leq 0,05$ мм, т. е. для условий БССР в 92% случаев. Хорошими фильтрами являются объемные материалы из стекла (вата, маты, скорлупы). По условию необходимой водопроницаемости фильтров дренажные гипсовые мхи можно применять в грунтах, имеющих $k_f \leq 0,8$ м/сутки. Сфагновые мхи обладают низкой фильтрационной способностью, и в большинстве несвязных грунтов их применять нельзя.

В мелиоративной практике применяют разнообразные защитные материалы: опилки, стружки, растительный слой почвы, пленку из полиэтилена и поливинилхлорида, вереск, солому, дерн, шлаковату и др. Однако большинство из них не отвечает требованиям, предъявляемым к фильтрам дренажей. Пахотный слой почвы, например, не является самостоятельным защитным материа-

лом, но в сочетании с другими (стеклохолстами) снижает опасность заиления и улучшает осушительное действие дрен в слабопроницаемых грунтах.

Дренируемые грунты характеризуются чрезвычайным разнообразием по механическому составу и часто сменяются даже на протяжении одного коллектора (дрены). Так, коллектор длиной 400—600 м может начинаться в супеси или суглинке, проходить в торфе и оканчиваться в мелкозернистом песке с отдельными линзами плывунов. Естественно, запроектировать способ защиты на отдельных участках вряд ли возможно, тем более что объем изысканий часто не позволяет этого сделать. Получить детальную характеристику грунтов по трассам всех дрен и коллекторов трудоемко и дорого. Вследствие этого в мелиоративной практике идут по пути применения такого фильтра и способа защиты, которые удовлетворяли бы большинству грунтов объекта (участка). Такими материалами, как показывает практика и проведенные исследования [32, 40, 45], являются стекловолоконистые холсты, стекловата, гравийно-песчаные смеси.

Ниже приводятся способы (схемы) защиты горизонтального трубчатого дренажа от заиления (рис. 55).

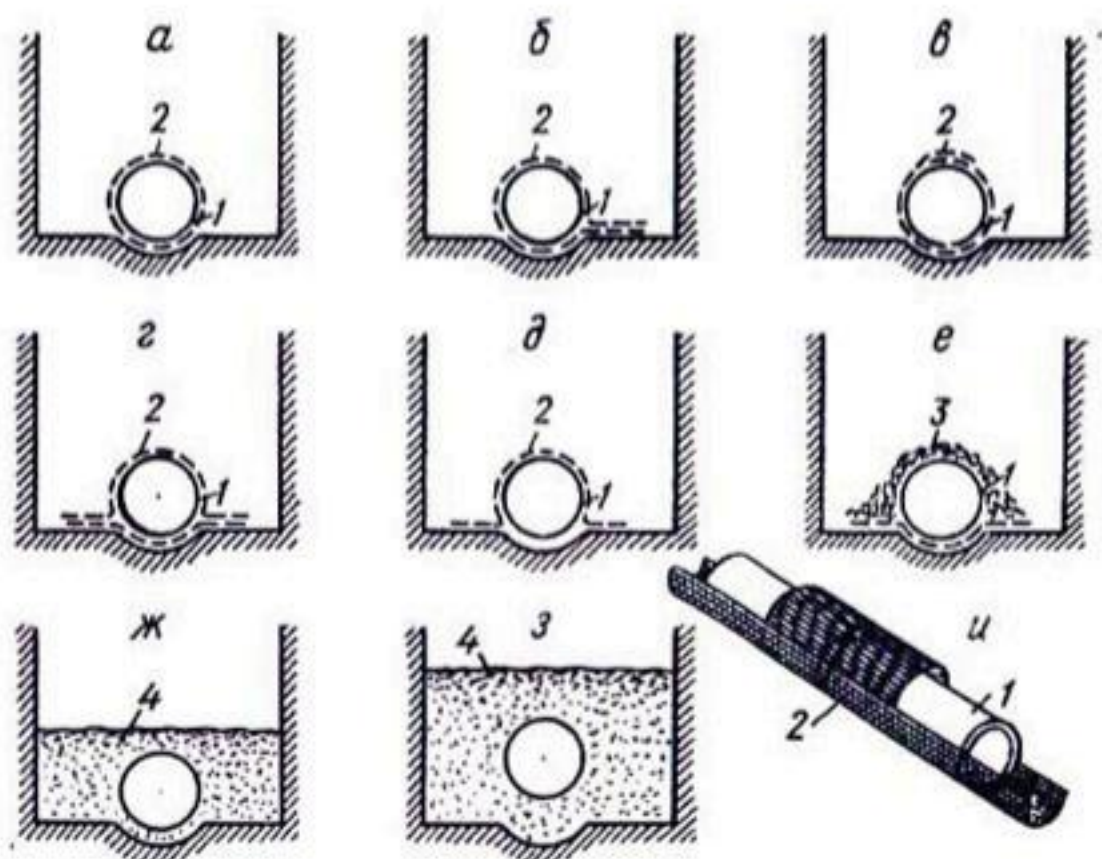


Рис. 55. Схемы защиты дрен от заиления:

1 — труба; 2 — стеклохолст; 3 — мох (фрезерный торф, очес верхового торфа); 4 — крупнозернистый сыпучий материал.

Схема а — перед укладкой в траншеи пластмассовые трубы обворачивают по спирали лентой стеклохолста шириной 15—25 см с нахлестом краев не менее 30 мм;

Схема б — предварительно уложенную на дне траншеи сплошную полосу стеклохолста шириной не менее чем на 50 мм больше наружного периметра дрен заворачивают вокруг труб после их укладки, нахлестку располагают 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 полосой стеклохолста, ширина которой не менее 3Д; нижняя полоса называется подстилочной, верхняя — покровной;

Схема д — трубы кладут в желобок на дне траншеи и сверху накрывают сплошной покровной лентой стеклохолста шириной не менее 3Д; для гончарного дренажа покровная лента может быть заменена узкими (не менее 10 см ширины) полосками, укладываемыми только на стыках;

Схема е — на дне траншеи расстилают сплошную полосу стеклохолста шириной не менее 15 см, уложенные на нее трубы сплошь накрывают фрезерным торфом слоем 3—5 или мхом 5—7 см; для гончарного дренажа верхний слой фильтра можно укладывать только в местах стыков труб;

Схема ж — трубы укладывают на дно траншеи и засыпают слоем не менее 7 см грубопористого сыпучего материала (гравийно-песчаная смесь, крупнозернистый песок и т. п.);

Схема з — на дно траншеи укладывают (с уплотнением) слой не менее 7 см грубопористого сыпучего материала, на уложенные затем трубы насыпают такой же слой фильтра;

Схема и — применяется только для гончарного дренажа; на дно траншеи укладывают сплошную полосу стеклохолста шириной не менее 15 см, затем каждый стык уложенных труб перекрывают полосой стеклохолста шириной 10—15 см и длиной равной 3Д.

В схемах г и е подстилочную ленту из стеклохолста во всех грунтах можно заменить лентой из полиэтиленовой пленки толщиной 50—100 микрон или сплошной полосой стеклоткани. В схеме д покровную ленту стекло-

холста можно заменить сплошным (для пластмассовых труб) или только на стыках (для гончарных) 5—7-сантиметровым слоем мха, очеса или фрезерного подстилочного торфа.

Укладывают стеклохолст механизированно, с помощью специальных приспособлений, дополнительно установленных на экскаваторах ЭТЦ-202 и ЭТН-171. При за-

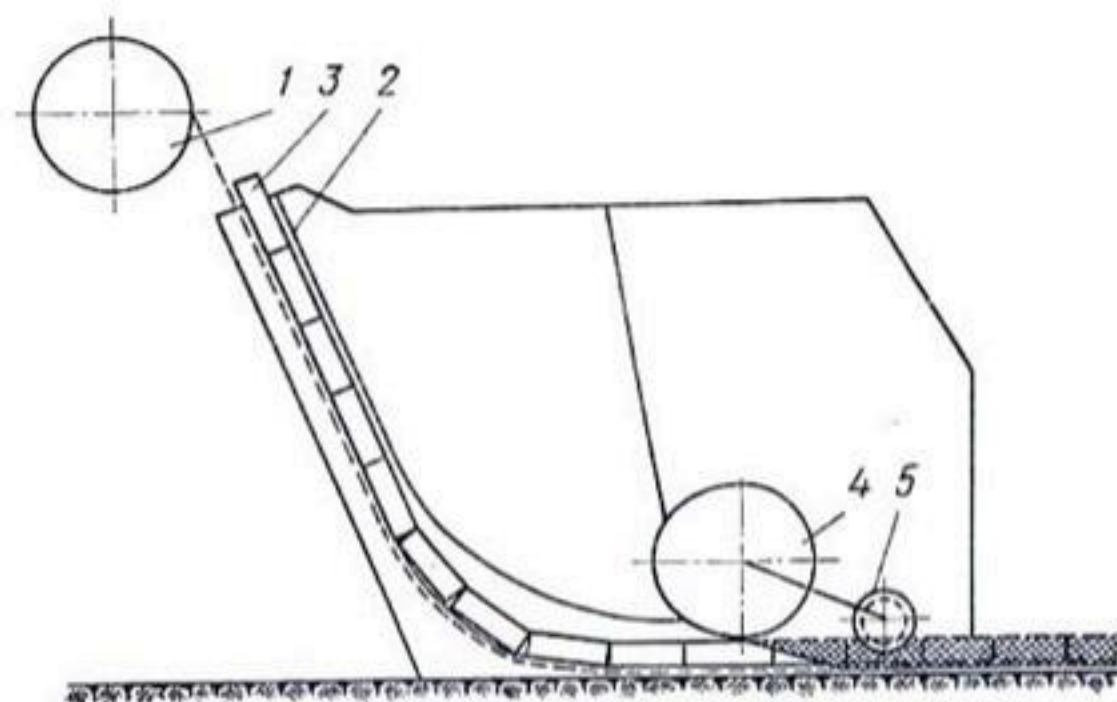


Рис. 56. Схема установки бобин стеклохолста в ящике-трубоукладчике траншейного экскаватора:

1 — бобина подстилочной ленты; 2 — желоб; 3 — трубки; 4 — бобина покровной ленты; 5 — прижимной ролик.

щите по схеме *г* в трубоукладчике экскаватора устанавливают две бобины: в верхней части с подстилочной лентой, в нижней — с покровной. Ширину лент в бобинах определяют приведенными выше условиями. Подстилочную ленту протягивают по спускному желобу и на нее укладывают трубы. При движении экскаватора ленты, разворачиваясь с бобин, укрывают трубу сплошным чулком (рис. 56). Обвернутые трубы присыпают немедленно после укладки фильтра. При укладке коллекторных гончарных трубок с применением защиты по схемам *г* и *е* подстилочная лента расстилается с бобины, укрепленной в ящике-трубоукладчике. На нее кладут трубы, покровную ленту (или полосы на стыках) укладывают вручную с бобины, укрепленной на штанге. При защите по схеме *б* или *в* в трубоукладчике устанавливают только верхнюю бобину. Лента движется вместе с уложенными на ней трубами. Рабочий, находящийся в ниж-

ней части трубоукладчика, вручную заворачивает ее края над трубой (или сбоку) и присыпает их грунтом. Для защиты по схеме *д* нужна только нижняя бобина. Покровную ленту (или полосы на стыках) можно укладывать вручную. Механизация защиты по схемам *б, в, г, д, е* пластмассовых труб, поставляемых в бухтах, осуществляется аналогично вышеописанному. Наиболее приемлема обмотка труб стеклохолстом по спирали (схема *а*) с помощью устройства, разработанного Слуцким СМУ (рис. 53). Коллекторные трубы, поставляемые в отрезках, при закладке в устойчивых грунтах защищаются по схемам *б—з*.

Т а б л и ц а 49

Основные способы защиты от заиливания пластмассовых дренажных труб

	Способ защиты и защитный материал	
	Гофрированные трубы с круглой перфорацией $d_0=1,4\pm 0,5$ мм. Гладкостенные трубы с продольно-щелевой перфорацией размером $25\times 1,0\pm 0,3$ мм	Гладкостенные трубы с круглой перфорацией $d_0=1,4\pm 0,5$ мм, отверстия имеют конусность, направленную внутрь труб
Грунты, в которых укладывается дренаж		
Пылуны и мелкозернистые пылеватые пески	Сплошная обертка труб стеклохолстом по схемам <i>а, б, в</i> или <i>г</i> , засыпка сверху гумусным грунтом слоем не менее 20 см	
Мелкозернистые пески, супеси, легкие пылеватые суглинки	Сплошная обертка труб стеклохолстом по схеме <i>а, б, в</i> или <i>г</i>	Полоса стеклохолста сверху по схеме <i>д</i>
Средне- и крупнозернистые пески	Без защиты	Полоса стеклохолста сверху по схеме <i>д</i>
Глины и суглинки, исключая пылеватые	Отсыпка грубопористым материалом по схеме <i>ж</i> , или <i>з</i> , или укладка сплошной полосы стеклохолста сверху по схеме <i>д</i> с засыпкой гумусным грунтом	
Торф низинный плотный ($\delta \geq 0,09$ г/см ³)	Сплошная полоса стеклохолста сверху по схеме <i>д</i>	
Торф низинный малой плотности ($\delta < 0,09$ г/см ³)	Полоса стеклохолста сверху по схеме <i>д</i> с последующей засыпкой кусками торфа с верхней части траншеи на высоту 15—20 см или покрытие дерном травой вниз; немедленная засыпка траншей на полную глубину	

Примечание. δ — объемный вес твердого вещества торфа.

Основные способы защиты от заиления гончарного дренажа

Грунты, в которых укладывается дренаж	Способ защиты и защитный материал
Плывуны, мелкозернистые пылеватые пески Супеси и пылеватые суглинки, песок мелко- и среднезернистый	Сплошная обертка труб стеклохолстом в 1—2 слоя по схемам б, в или г; засыпка гумусным грунтом на высоту не менее 20 см При устойчивых откосах траншей и отсутствии в них воды: круговая обертка (обсыпка) стыков трубок по схеме г, д, ж, или и В водонасыщенных и слабых грунтах сплошная обертка трубок стеклохолстом по схеме б, в или г; засыпка гумусным грунтом в супесях и суглинках
Глины и суглинки, кроме пылеватых	Защита стеклохолстом по схеме д сплошной лентой или только узкими полосками на стыках трубок Для увеличения приточности воды к дренам обсыпка гравием или крупнозернистым песком по схеме ж или з; засыпка траншей гумусным грунтом
Торф низинный плотный ($\delta \geq 0,09$ г/см ³)	Сплошная или только на стыках полоса стеклохолста по схеме д
Торф низинный малой плотности ($\delta < 0,09$ г/см ³)	Укладка трубок на деревянные стеллажи, покрытие сплошной полосой стеклохолста по схеме д с последующей укладкой кусков торфа или дерна травой вниз; немедленная засыпка траншей на полную глубину

Способ (схема) защиты дрен от заиления, материал фильтров и технология их укладки определяются гранулометрическим составом грунта, в котором укладываются трубы, их конструктивными параметрами и размерами перфорации, а также гидрогеологическими условиями, стоимостью материала и строительных работ. Способы защиты пластмассового и гончарного дренажа в однородных грунтах и глубоких торфяниках даны в табл. 49 и 50. На практике в массиве однородного грунта часто встречаются линзы плывунов, пылеватых песков и т. п. Во время строительства необходимо тщательно следить за появлением таких мест, и защиту осуществлять в соответствии с изменившимися грунтовыми условиями. При сильной пестроте и частой смене грунтов в выборе способа защитных мероприятий за основу принимают самый неблагоприятный (по заиляемости) случай. На мелких торфяниках дренажи защищают, исходя из физических свойств подпочвы, т. е. принимают один из методов, ре-

комендованных для минеральных грунтов. Используя стеклохолст, следует принимать необходимые меры по технике безопасности и обеспечивать рабочих защитными очками, перчатками и т. п. Обрывки материала нельзя оставлять на поверхности почвы. В тех случаях, когда допускаются различные схемы защиты и используются различные материалы, применяют наиболее экономичный способ, исходя из конкретных условий данного объекта осушения и наличия защитных фильтров, в том числе и местных. При этом необходимо особое внимание уделять качеству работ.

§ 4. Зимнее строительство дренажа

В БССР, начиная с 1968 г., ведется зимнее строительство дренажа с применением гофрированных труб из ПВХ. Полиэтилен морозоустойчив вплоть до -60° , а гофрированные трубы из него при отрицательных температурах воздуха обладают достаточной гибкостью. Трубы из ПВХ применять зимой нельзя, так как материал становится хрупким уже при $+5^{\circ}$. По данным Н. М. Варнакова [10], гофрированные трубы $D=50$ мм из ПВХ при температурах воздуха до -30° легко разворачиваются из бухт и ровной линией укладываются на дно траншей. Перегибов, переломов и образования трещин как при укладке труб, так и засыпке траншей не наблюдается.

Технология укладки гофрированных труб зимой ничем существенно не отличается от летних работ и может осуществляться по изложенным выше двум способам. Основные трудности обусловлены разработкой замерзшего верхнего слоя почвы. Возможны несколько способов разработки мерзлого грунта. При глубине промерзания не более 7 см траншей можно прокладывать экскаваторами ЭТЦ-202 и ЭТН-171 без привлечения других машин. При большей глубине промерзания необходима предварительная разработка мерзлого грунта. Если мерзлота не превышает 25 см, то применяют тракторные рыхлители Д-515С, Д-527, РК-1,2 или 2-зубовые корчеватели. При промерзании грунта более 25 см рекомендуется вскрышные работы проводить роторными экскаваторами ЭТР-141, ЭР-7А и другими.

В зимних условиях предпочтительнее закладывать дренаж на торфяниках, потому что глубина промерзания

их не превышает 40 см. Разрабатывать мерзлый торф гораздо легче, чем минеральный грунт, при этом техника изнашивается гораздо меньше. Процесс строительства осуществляется следующим образом. Вначале бульдозером сдвигают снежный покров на полосе 5—6 м по трассам дрен и коллекторов. Затем роторным экскаватором разрабатывают мерзлый грунт на глубину не более ± 4 см от границы промерзания. Далее траншейным экскаватором его дорабатывают до проектных отметок и укладывают трубы, после чего обвертывают фильтром, вручную присыпают рыхлым грунтом и немедленно бульдозером засыпают траншею на полную глубину. Опыт показывает, что один роторный экскаватор может обеспечить фронт работ для двух траншейных. При зимнем строительстве целесообразно создавать комплексные бригады, состоящие из одного роторного, двух траншейных экскаваторов, бульдозера и тракторной тележки. Оплату членов бригады следует проводить в зависимости от выработки по укладке дренажа. При четкой организации производительность за час чистой работы в зимних условиях при закладке пластмассового дренажа может достигать летней. Но из-за неблагоприятных погодных условий средняя выработка все же снижается. По хронометражным наблюдениям Н. М. Варнакова [10], выработка за 7-часовую смену составляет летом в среднем 735, зимой — 576 *пог. м* дренажа. Эффект строительства увеличится, если будут разработаны специальные роторные дреноукладчики, обеспечивающие высокую производительность как в летних, так и зимних условиях.

§ 5. Особенности строительства пластмассового дренажа

Строительство пластмассового дренажа имеет ряд существенных особенностей, от правильного учета которых во многом зависит успешное проведение работ и надежность действия осушительной сети.

Прочность пластмассовых труб, имеющих надрезы, глубокие царапины и трещины, вследствие локальной концентрации напряжений, резко снижается. Поэтому при их укладке следует проявлять осторожность: дефектные участки нужно вырезать, а концы труб сращивать муфтами. Нужно учитывать высокий коэффициент ли-

нейного термического расширения материала, принимать специальные меры по предотвращению расстройств дренажных линий. Длина входа концов труб в раструбе соединения и муфты должна быть не менее 3 см. Нельзя допускать укладку пластмассовых труб впритык без муфтовых соединений, так как при пониженных температурах концы их могут разойтись на значительную величину, что вызовет заиливание дренажа.

Нижнюю часть траншей (на 20—30 см) с уложенными пластмассовыми трубами засыпают мягким рыхлым грунтом. Не допускаются в засыпке крупные глыбы, мелкие камни и древесные остатки. Во всех местах сочленений нужна утрамбовка грунта. При наличии в траншеях воды полиэтиленовые трубы всплывают, поэтому первичную присыпку их грунтом следует проводить одновременно с укладкой и окончательную засыпку траншей делать в день строительства дренажа. Засыпая траншеи с уложенными трубами из ПВХ, необходимо проявлять максимальную осторожность, особенно при температурах воздуха ниже $+5^{\circ}$; так как материал становится хрупким и плохо сопротивляется ударным воздействиям.

Всех членов дренажных бригад перед началом строительства нужно проинструктировать и ознакомить с технологией проведения работ. Инженерно-технический персонал должен тщательно следить за правильностью укладки дренажа и его качеством, условиями хранения и транспортировки труб.

Приложение I

Основные физико-механические свойства пластмасс, применяемых для изготовления дренажных труб ($t = 20^\circ$)

Показатель	Единица измерения	ПВЛ	ПНП	ППВХ (винипласт)
Удельный вес	г/см ³	0,94—0,96	0,92—0,93	1,38—1,43
Предел прочности при:				
растяжении	кг/см ²	220—400	120—150	450—700
сжатии	»	240	125	600—900
изгибе	»	200—380	120	700—1200
на срез	»	200—360	140—170	470
Модуль упругости	»	(5—9) · 10 ³	(1—2,5) · 10 ³	(2,6—3,0) · 10 ⁴
Относительное удлинение при разрыве	%	200—900	400—600	5—40
Температура хрупкости	град.	—30	—60	—
Твердость по Дюну	—	70—120	43—60	—
Теплопроводность	кал/см сек/град	0,00096	0,0007	
Коэффициент линейного расширения на 1° в интервале от 0 до 50°	—	0,00020	0,00022	0,00008

Приложение II

Гофрированные дренажные трубы из полиэтилена высокой плотности, выпускаемые Борисовским заводом пластмассовых изделий по ВТУ 3-3-68 (трубы конструкции БелНИИМиВХ)

Диаметр, мм		Толщина стенки δ , мм	Размеры гофров, мм		Вес 1 пог. м труб, кг	Длина трубы в бухте (отрезе), м	Диаметр перфорации d_0 , мм	Число рядов перфорации m	Количество отверстий на 1 пог. м, N	Водопроницаемая площадь, см ² /пог. м
наружный D_n	внутренний D		шаг S	высота h						
50	44,6	0,8+0,2	4,6	3,0	0,15	200	1,4	6	1300	20,0
80	73,9	1,1+0,2	12,0	3,5	0,32	5	1,4	3	250	4,0
100	92,8	1,3+0,3	7,0	4,0	0,50	5	1,4	3	430	7,0
125	119,0	1,5+0,4	8,0	4,0	0,75	5	1,4	3	370	6,0

Приложение III

Гофрированные дренажные трубы из полиэтилена высокой плотности, выпускаемые Вильнюсским заводом пластмассовых изделий по МРТУ 6-05-1078-69 (трубы конструкции НИИПМ)

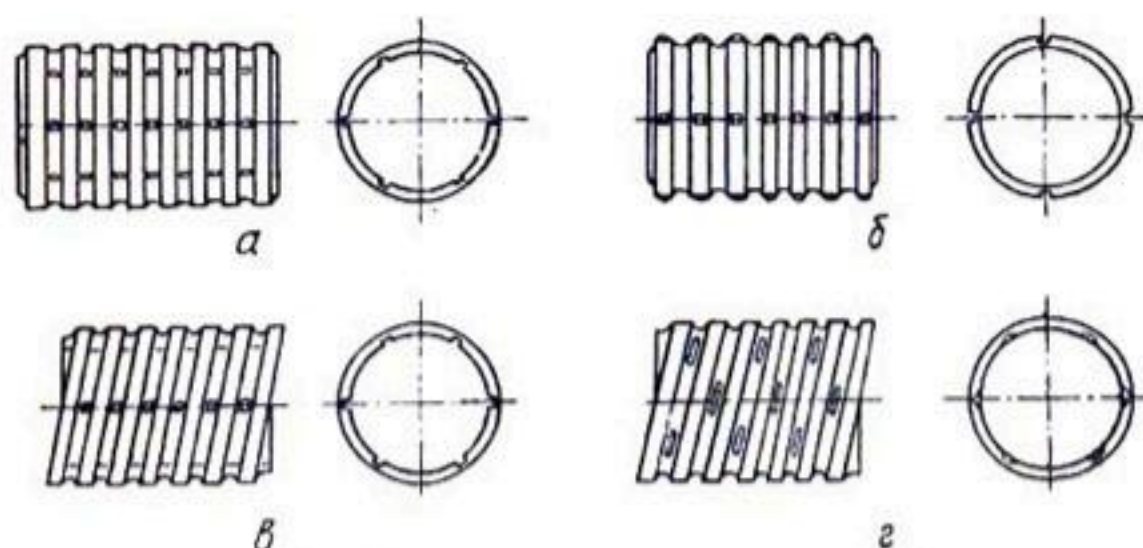
Диаметр, мм		Толщина стенки δ , мм	Размеры гофров, мм		Вес 1 пог. м трубы, кг	Длина труб в бухте, м	Диаметр перфорации d_0 , мм	Число рядов перфораций m	Количество отверстий на 1 пог. м N	Водоприсная площадь, см ² /пог. м
наружный D_n	внутренний D		шаг S	высота h						
50	42,4	0,8+0,3	6	3,0	0,19	200	1,4	6	1000	15
63	54,4	0,9+0,3	8	3,8	0,26	160	1,4	6	750	12
75	65,0	1,0+0,4	9	4,4	0,36	120	1,4	3	330	5
90*	83,4	1,2+0,4	11	5,4	0,50	100	1,4	3	270	4
110*	93,6	1,4+0,5	14	6,8	0,72	70	1,4	3	210	3
125*	106,4	1,6+0,5	16	7,8	0,91	60	1,4	3	190	3

* Производство пока не налажено.

Приложение IV

Гладкостенные дренажные трубы из полиэтилена высокой плотности (по проекту МРТУ 6-05-917-68 Мгл, разработанному ЛатНИИГим)

Диаметр, мм		Толщина стенки δ , мм	Размеры продольно-параллельных щелей, мм			Вес 1 пог. м трубы, кг	Длина труб в бухте (отрезке), м	Число рядов перфораций m	Количество отверстий на 1 пог. м, N	Водоприсная площадь, см ² /пог. м
наружный D_n	внутренний D		ширина b	длина l	шаг S_0					
40	37,2	1,4+0,4	0,8	20	60	0,21	200	6	100	14
50	47,0	1,5+0,4	0,8	20	60	0,25	5	6	100	14
63	59,6	1,7+0,4	0,8	20	60	0,38	5	6	100	14
75	71,0	2,0+0,5	0,8	20	60	0,49	5	6	100	14
90	85,6	2,2+0,6	0,8	20	60	0,63	5	6	100	14
110	104,6	2,7+0,8	0,8	20	60	0,97	5	6	100	14
125	119,0	3,0+0,8	0,8	20	60	1,27	5	6	100	14
140	133,0	3,5+0,9	0,8	20	60	1,58	5	6	100	14



Схемы конструкций гофрированных дренажных труб, выпускаемых за рубежом: *а* — с кольцевыми замкнутыми гофрами, щели расположены во впадинах; *б* — то же, щели на выступах; *в* — с наклонными винтовыми гофрами, продольные щели во впадинах; *г* — то же, поперечные щели во впадинах.

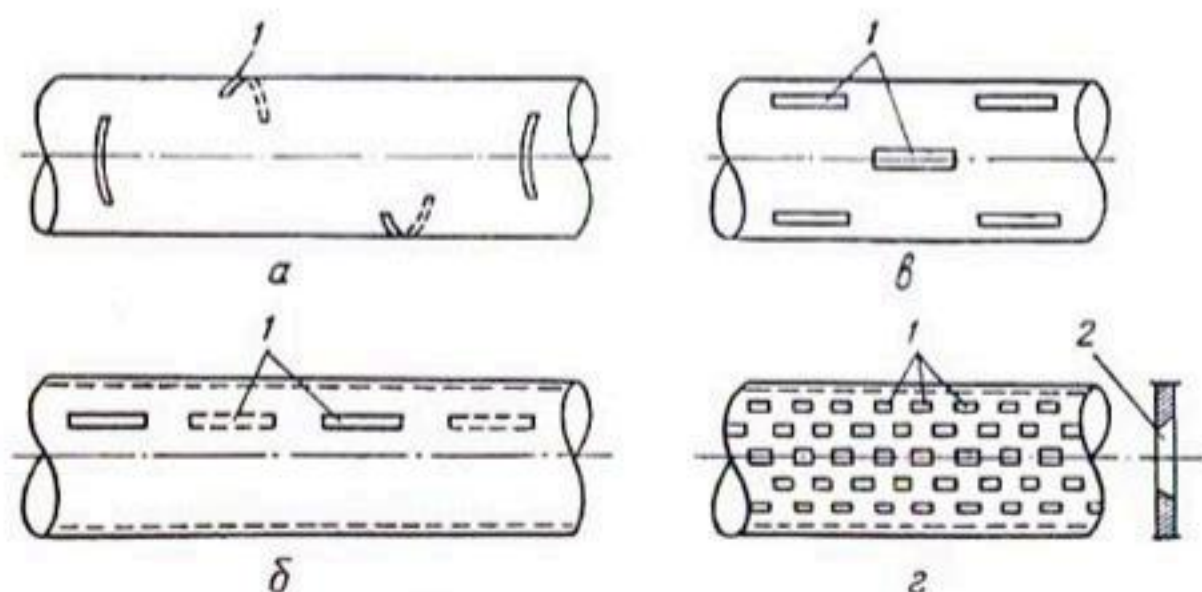


Схема конструкций гладкостенных пластмассовых дренажных труб: *а* — с поперечными щелями; *б* — с двумя рядами продольно-параллельных щелей; *в* — с шестью рядами щелей; *г* — с многорядной перфорацией в виде коротких клиновидных щелей. 1 — щель; 2 — разрез вдоль нее.

П р и м е ч а н и е. При условном обозначении труб последовательно указывают: величину наружного диаметра и толщину стенки, тип, название материала, номер рецептуры и номер настоящих МРТУ. Пример условного обозначения трубы наружным диаметром 75 и толщиной стенки 2,0 мм легкого типа, изготовленной из полиэтилена высокой плотности 1-й рецептуры: трубы 75×2Л ПВД-1 МРТУ 6-05-917-67.

Приложение VIII

Номинальные и расчетные диаметры напорных труб из полиэтилена низкой плотности, по сортаменту МРТУ 6-05-918-67

Размер, мм														
Наружный диаметр		Легкий тип Л			Среднелегкий тип СЛ			Средний тип С			Тяжелый тип Т			
		Толщина стенки	Расчетный диаметр D_p	Вес 1 пог. м, кг	Толщина стенки	Расчетный диаметр D_p	Вес 1 пог. м, кг	Толщина стенки	Расчетный диаметр D_p	Вес 1 пог. м, кг	Толщина стенки	Расчетный диаметр D_p	Вес 1 пог. м, кг	
Номинал D_H	Допустимое отклонение Δd_H	Номинал t_c	Допустимое отклонение Δt_c	Вес 1 пог. м, кг	Номинал t_c	Допустимое отклонение Δt_c	Вес 1 пог. м, кг	Номинал t_c	Допустимое отклонение Δt_c	Вес 1 пог. м, кг	Номинал t_c	Допустимое отклонение Δt_c	Вес 1 пог. м, кг	
10	+0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,5	6,75	0,05
12	+0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,5	7,75	0,07
16	+0,6	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,5	0,10	2,7	+0,6	10,30	0,12
20	+0,6	—	—	—	—	—	—	2,2	+0,6	0,13	3,4	+0,7	12,80	0,18
25	+0,7	—	—	—	—	—	—	2,7	+0,6	0,20	4,2	+0,8	16,15	0,28
32	+0,8	—	—	—	2,0	+0,5	0,15	3,5	+0,8	0,32	5,4	+1,0	21,10	0,46
40	+0,9	2,0	+0,5	35,95	2,5	+0,6	0,23	4,3	+0,9	0,49	6,7	+1,2	26,85	0,71
50	+1,1	2,4	+0,6	45,15	3,0	+0,7	0,36	5,4	+1,0	0,76	8,4	+1,5	32,25	1,10
63	+1,3	3,0	+0,7	56,95	3,7	+0,8	0,55	6,8	+1,2	1,21	10,5	+1,8	40,85	1,73
75	+1,4	3,6	+0,8	67,70	4,7	+0,9	0,87	8,1	+1,5	1,71	12,5	+2,1	48,60	2,43
90	+1,7	4,3	+0,9	81,35	5,6	+1,1	1,23	9,7	+1,7	2,43	15,0	+2,5	58,35	3,49
110	+2,0	5,3	+1,0	99,40	6,7	+1,2	1,76	11,8	+2,0	3,60	18,4	+3,0	71,20	5,21
140	+2,4	6,7	+1,2	126,60	8,2	+1,5	2,62	—	—	—	—	—	—	—
160	+2,7	7,7	+1,3	144,65	10,4	+1,8	4,25	—	—	—	—	—	—	—
					11,9	+2,0	5,53	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. При условном обозначении труб последовательно указывают: величину наружного диаметра и толщину стенки, тип, название материала и номер настоящих МРТУ. Пример условного обозначения трубы с наружным диаметром 40 и толщиной стенки 2,0 мм легкого типа, изготовленной из полиэтилена низкой плотности: труба 40×2Л ПНП МРТУ 6-05-918-67.

Приложение IX

Номинальные и расчетные диаметры по проекту сортамента МРТУ на трубы из непластифицированного поливинилхлорида (винипласта)

Р а з м е р , мм

Наружный диаметр	Легкий тип Л			Среднелегкий тип СЛ			Средний тип С			Тяжелый тип Т		
Номинал D_n	Допустимое отклонение Δd_n	Номинал t_c	Допустимое отклонение Δt_c	Расчетный диаметр D_p	Вес 1 пог. м, кг	Толщина стенки	Номинал t_c	Допустимое отклонение Δt_c	Расчетный диаметр D_p	Вес 1 пог. м, кг	Толщина стенки	Допустимое отклонение Δt_c
16	+0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,6	+0,4
20	+0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,6	+0,4
25	+0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,9	+0,4
32	+0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,5	+0,5
40	+0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,1	+0,5
50	+0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,8	+0,6
63	+0,6	1,6	+0,4	59,70	0,49	1,6	2,0	+0,5	56,80	0,56	4,8	+0,7
75	+0,7	1,8	+0,4	71,35	0,61	1,6	2,4	+0,5	67,55	1,22	5,8	+0,8
90	+0,8	1,8	+0,4	86,40	0,77	2,0	3,0	+0,6	81,20	1,74	6,9	+0,9
110	+1,0	2,2	+0,4	105,80	1,12	2,9	3,5	+0,6	99,20	2,57	8,5	+1,1
125	+1,1	2,6	+0,5	119,85	1,56	4,0	4,0	+0,6	112,75	3,52	—	—
140	+1,3	2,9	+0,5	134,35	1,93	4,5	6,7	+0,9	126,35	4,24	—	—
160	+1,5	3,3	+0,5	153,65	2,50	5,2	7,7	+1,0	144,35	5,44	—	—
180	+1,7	3,7	+0,6	172,85	3,10	5,8	—	—	—	—	—	—
200	+1,8	4,1	+0,6	192,10	3,73	6,5	—	—	—	—	—	—
280	+2,5	5,7	+0,8	269,05	7,38	—	—	—	—	—	—	—
315	+2,8	6,4	+0,9	302,70	9,40	—	—	—	—	—	—	—
355	+3,2	7,3	+1,0	341,00	10,20	—	—	—	—	—	—	—
400	+3,6	8,2	+1,1	384,30	12,30	—	—	—	—	—	—	—

Стоимость напорных труб из полиэтилена

Наружный диаметр D_H , мм	Оптовая цена 10 пог. м, руб.-коп.			
	из полиэтилена высокой плотности по МРТУ 6-05-917-67 из полиэтилена низкой плотности по МРТУ 6-05-918-67			
	легкого типа	среднелегкого типа	среднего типа	тяжелого типа
10	—	—	—	0—60
12	—	—	—	0—78
16	—	—	0—83	1—20
20	—	1—15	1—30	1—50
25	—	1—15	1—70	2—25
32	—	1—70	2—50	3—50
40	2—10	2—70	3—40	5—30
50	3—00	4—00	5—20	8—50
63	4—40	6—00	8—70	13—00
75	6—30	8—50	12—00	19—00
90	9—50	12—00	18—70	25—70
110	14—00	17—50	25—00	38—00
140	18—00	28—00	39—00	57—00
160	26—00	36—00	50—50	76—00
225	44—00	70—00	96—00	—
280	68—00	102—00	—	—
315	84—00	128—00	—	—

Результаты гидравлических испытаний гофрированных
поливинилхлоридных труб $D=50$ мм

Q , л/сек	Δh , мм	v , м/сек	Re	lg Re	λ	lg 100 λ	100 z	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$
0,162	3	0,08	3246	3,5113	0,05739	0,7589	0,04	4,17
0,241	6	0,12	4818	3,6828	0,05483	0,7382	0,08	4,27
0,364	15	0,19	7236	3,8595	0,05683	0,7545	0,20	4,21
0,486	26	0,25	9731	3,9883	0,05526	0,7424	0,35	4,23
0,574	36	0,29	10870	4,0361	0,05485	0,7392	0,47	4,27
0,707	54	0,36	13770	4,1388	0,05322	0,7251	0,72	4,33
0,822	71	0,42	16009	4,2043	0,05273	0,7219	0,95	4,36
0,933	91	0,48	18479	4,2596	0,05248	0,7200	1,21	4,36
1,017	106	0,52	19816	4,2970	0,05145	0,7114	1,41	4,40
1,097	124	0,56	21561	4,3296	0,05173	0,7173	1,65	4,40
1,162	138	0,59	22649	4,3548	0,05131	0,7102	1,84	4,40
1,485	216	0,75	28509	4,4568	0,04906	0,6942	2,88	4,50
1,500	220	0,76	28391	4,4531	0,05040	0,7024	2,93	4,46
1,591	250	0,80	30171	4,4795	0,05021	0,7008	3,33	4,46
1,645	264	0,84	32012	4,5053	0,04872	0,6877	3,73	4,51
1,679	280	0,86	32716	4,5146	0,04980	0,6972	3,51	4,48
1,738	294	0,88	33845	4,5295	0,04870	0,6875	3,91	4,53
1,843	330	0,94	35896	4,5550	0,04845	0,6852	4,39	4,53
1,881	351	0,96	35615	4,5500	0,04875	0,6870	4,67	4,53
1,935	365	0,99	36631	4,5658	0,04860	0,6816	4,86	4,53
2,018	394	1,02	36000	4,5563	0,04845	0,6852	5,25	4,54
2,126	440	1,08	39706	4,5978	0,04845	0,6852	5,86	4,54
2,204	467	1,12	40506	4,6074	0,04840	0,6848	6,22	4,55
2,249	490	1,14	42711	4,6297	0,04825	0,6834	6,52	4,56

Приложение XII

Результаты гидравлических испытаний гофрированных
труб $D=91$ мм

Высота наполнения H , см	$\frac{H}{D}$	Q , л/сек	ω , см ²	v , м/сек	$\frac{v}{v_n}$	$\frac{Q}{Q_n}$
2,70	0,30	0,502	16,42	0,30	0,62	0,16
3,00	0,33	0,615	18,58	0,33	0,67	0,19
3,30	0,36	0,730	20,88	0,35	0,71	0,23
3,60	0,40	0,861	24,30	0,36	0,72	0,27
4,05	0,44	1,085	28,08	0,38	0,76	0,34
4,30	0,47	1,230	30,96	0,40	0,81	0,39
4,70	0,52	1,412	33,80	0,42	0,85	0,44
5,05	0,56	1,654	37,86	0,44	0,89	0,52
5,45	0,60	1,885	40,80	0,46	0,94	0,59
6,05	0,66	2,188	46,11	0,47	0,96	0,69
6,45	0,71	2,356	49,46	0,48	0,97	0,74
6,95	0,76	2,630	53,49	0,49	1,00	0,83
7,20	0,79	2,710	55,16	0,49	1,00	0,86
7,70	0,85	2,920	59,00	0,50	1,03	0,92
8,30	0,91	3,078	62,16	0,50	1,01	0,97
8,80	0,97	3,160	64,20	0,49	1,00	1,00

Примечание: $Q_n = 3,160$ л/сек; $v_n = 0,49$ м/сек

1. Абрамов С. К. Подбор фильтрующих обсыпок для горизонтальных дренажей. «Научное сообщение», ВОДГЕО, 1962.
2. Абрамов С. К. Проект инструкции по подбору и расчету фильтров буровых скважин. ВОДГЕО, 1947.
3. Аверьянов С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М., АН СССР, 1959.
4. Агроскин И. И. и др. Гидравлика. М.—Л., Госэнергоиздат, 1964.
5. Альтшуль А. Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
6. Антонов В. И. Пластмассовый дренаж. М., «Колос», 1967.
7. Блажиев Б. И. Гидравлические сопротивления гончарных и бетонных дренажных труб. Каунас, 1963.
8. Ведерников В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. М.—Л., Госстройиздат, 1939.
9. Временные технические указания по проектированию закрытых осушительных систем. М., Изд-во МСХ РСФСР, 1963.
10. Варнаков Н. М. Строительство пластмассового дренажа в зимних условиях. — В сб.: Мелиорация и использование осушенных земель. Труды, т. XIX, Минск, «Ураджай», 1971.
11. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. М., Гостехтеорлит, 1956.
12. Дрозд П. А. Прочность и оптимальная высота песчаных насыпей на торфе при статических нагрузках. — В сб.: Осушение и использование торфяно-болотных почв. Минск, Сельхозгиз БССР, 1963.
13. Донской Г. В. К вопросу о расчете дренажных труб на прочность. — Труды института ВОДГЕО, вып. 18, 1967.
14. Егоров А. И. Вихревые сопротивления, возникающие в трубчатых системах при распределении и сборе воды. М., 1961.
15. Емельянов Л. М. О расчете подземных гибких труб. — «Строительная механика и расчет сооружений», 1961, № 1.
16. Климов В. Т., Мурашко А. И. Водозахватная способность пластмассового дренажа. — В сб.: Материалы для водохозяйственного строительства. Экспресс-информация, ЦЕНТИ по мелиорации и водному хозяйству, вып. 6, 1968, № 1.
17. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М., Сельхозгиз, 1951.
18. Кристеа Н. Подземная гидравлика. М., Гостехиздат, 1961.
19. Каган Д. Ф. Исследование свойств и расчет полиэтиленовых труб, применяемых в водоснабжении. М., Стройиздат, 1964.
20. Конаков П. К. Новая формула для коэффициента сопротивления гладких труб. «ДАН СССР» (новая серия), т. 51, 1946, № 7.

21. Клейн Г. К. Расчет подземных трубопроводов. М., Стройиздат, 1969.
22. Кулинчик Б. И. Опыт осушения слабОВОдопроницаемых почв в колхозе «Ленинский путь». — «Гидротехника и мелиорация», 1971, № 11.
23. Лутин Д. Ж. Дренаж сельскохозяйственных земель. М., «Колос», 1964.
24. Мариупольский Г. М. Теоретические и практические предпосылки развития технологии водоснабжения. — В сб.: Труды совещания по вопросам понижения уровня грунтовых вод. М., Стройиздат, 1966.
25. Маркушевич А. И. Краткий курс теории аналитических функций. М., Физматгизд., 1961.
26. Митрахович А. И. Формулы гидравлического расчета гофрированных дренажных труб из полиэтилена. — Экспресс-информация по сельскому хозяйству. Минск, февраль, 1970.
27. Мурашко А. И. Осадка дна осушительных каналов и дрен. — В сб.: Осушение и использование торфяно-болотных почв. Минск, Сельхозгиз БССР, 1963.
28. Мурашко А. И. Исследование гидравлических закономерностей турбулентного движения в полиэтиленовых дренажных трубах. — В сб.: Мелиорация и использование осушенных земель. Минск, «Урожай», 1966.
29. Мурашко А. И. Проектирование и строительство дренажа из пластмасс. — В сб.: Мелиорация земель нечерноземной зоны СССР (материалы семинара), М., 1967.
30. Мурашко А. И. Приточность воды к дрене, имеющей два ряда продольных щелей, расположенных асимметрично по окружности трубы. — В сб.: Мелиорация и использование осушенных земель. Труды, т. XIX, Минск, «Урожай», 1971.
31. Мурашко А. И. Применение труб из полимерных материалов при осушении избыточно увлажненных земель. — В сб.: Гидротехника и мелиорация (работы молодых ученых). М., «Колос», 1968.
32. Мурашко А. И. Пластмассовый дренаж. Минск, «Урожай», 1969.
33. Мурашко А. И. Расчет расстояний между винипластовыми пленочными дренами. — Экспресс-информация, ЦБНТИ по мелиорации и водному хозяйству, вып. 2, 1970.
34. Мурашко А. И., Климов В. Т. Влияние размеров и расположения продольно-щелевой перфорации пластмассовых дрен на их водозахватную способность. — Экспресс-информация, ЦБНТИ по мелиорации и водному хозяйству, вып. 2, 1970.
35. Мурашко А. И. Кольматаж — враг дренажа. — «Сельское хозяйство Белоруссии», 1970, № 14.
36. Никурадзе И. Закономерности турбулентного движения в гладких трубах. — В сб.: Проблемы турбулентности. ОНТИ, 1936.
37. Никольский П. С. Расчет притока воды и утечки воздуха на строительстве подводных тоннелей. — В сб.: Труды совещания по вопросам понижения уровня грунтовых вод. М., Стройиздат, 1966.
38. Оффенгенден Ю. С. Гидравлический расчет пластмассовых трубопроводов. — «Гидротехника и мелиорация», 1972, № 1.
39. Павловский Н. Н. Гидравлический справочник. М.—Л., 1937.

40. Пивовар Н. Г. Фильтры из стеклянного и базальтового волокна и применение их в гидротехнике и мелиорации. — Экспресс-информация, ЦБНТИ по мелиорации и водному хозяйству, серия 6, вып. 3, М., 1967.
41. Пивовар Н. Г. Результаты исследований фильтрационных свойств деформируемых пористых сред из минеральных волокнистых материалов. — В сб.: Фильтрационные исследования и расчеты. Киев, «Наукова думка», 1967.
42. Печуров А. Ф. Устойчивость русел рек и каналов. Минск, «Урожай», 1964.
43. Ржаницын А. Р. Пологие оболочки и волнистые настилы. Научное сообщение, вып. 14, М., 1960.
44. Сегаль Г. Я., Эглий Э. Х. Гидравлические характеристики пластмассовых дренажных труб. — В сб. Труды ЛатНИИГиМ, № 7. Елгава, 1968.
45. Сапожников Е. Г. Некоторые вопросы защиты пластмассового дренажа от заиления. — В сб.: Материалы для водохозяйственного строительства. Экспресс-информация, ЦБНТИ по мелиорации и водному хозяйству, вып. 6, 1968, № 1.
46. Сапожников Е. Г. Надежная защита. — «Сельское хозяйство Белоруссии», 1966, № 4.
47. Сапожников М. М. Гидравлические закономерности турбулентного движения в трубах из различных материалов. М.—Л., Стройиздат, 1964.
48. Тихов М. Н. Математическая теория движения жидкости и газа к центральной несовершенной скважине. Харьков, 1964.
49. Фильчаков П. Ф. Теория фильтрации под гидротехническими сооружениями. Т. 2. Киев, АН УССР, 1960.
50. Филоненко Г. К. Формула для коэффициента сопротивления гладких труб. — «Известия», ВТИ, 1948, № 10.
51. Федотова З. Ф., Страутиня В. П. Исследования по борьбе с заилением пластмассовых дренажных соединениями железа. — «Тезисы докладов научно-отчетной конференции ЛатНИИГиМ», Елгава, 1971.
52. Хруцкая З. Я. Заиление дренажа железистыми соединениями. М., «Колос», 1970.
53. Хасеневич Б. К. О рациональном очертании гофров пластмассовых дренажных труб. — Экспресс-информация, ЦБНТИ по мелиорации и водному хозяйству. М., 1972.
54. Шилейка А. В. Пластмассовый дренаж при осушении земель в Литве. — «Гидротехника и мелиорация», 1966, № 8.
55. Шевелев Ф. А., Лобачев П. В., Рузин М. Я. Пластмассовые трубопроводы. — Сборник трудов НИИСТ, № 5, Госстройиздат, 1960.
56. Шевелев Ф. А. и др. Применение напорных винипластовых труб в системе водоснабжения. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1959, № 1 и 2.
57. Шевелев Ф. А. Исследования основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. М., Госстройиздат, 1963.
58. 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.
59. Эфендиев Н. Т. Конструктивные особенности горизонталь-

ного трубчатого дренажа. — Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1963.

60. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. М., «Наука», 1968.

61. Beken A. van der Hayndrickx G. A. „Meded Rijksfakultelt Landbauwetenschappen Gent“. 1966. 31. 2.

62. Bretting A. E. Hydraulik. 1960.

63. Brink N., Nilsson S. „Z. f. K. u. F.“ 1. 1965.

64. Brink N., Djonson B. „Z. f. K. u. F.“ 5. 1966.

65. Cavelaars, I. C. Stronung von water naar drains Tijdschr Koninkl Nederlandsche Heidemaat Schappij. 73. 1962.

66. Dodson C. R., Cardwell W. T. Trans. AIME. 160. 56. 1945.

67. Darrell G. Luthin N. Hilgardia, Volume 35. Number 3. September. 1963.

68. Eriksson J. „Grundförbättring“. 1966. 19. 2.

69. Eriksson J. Trans. Dan. Acad. Tech. Sci. 3. 1951.

70. Eylers. „Wasser und Boden“. lg. 20. III. 1968.

71. Feichtinger F. „Forderungsdienst“. 1960. 8. 10.

72. Galwitz K. „Landstechnik“. 14. 1964.

73. Galwitz K. „Wasser und Boden“ 4. 1964.

74. Galwitz K. „Z. t. K.“ 5. 1962.

75. Kabina P. Tlapák V. „Inform. M. Z. W. Meliorace“. 1967. 3. 1.

76. Kuntze H. „Z. f. K.“ 1. 1963.

77. Kaminski F. „Wasser und Boden“. 4. 1966.

78. Loun H. „Das Gas und Wasserfach“. 6. 1958.

79. Muskat M. Trans. AIME. 151. 175. 1943.

80. Olbertz M. Wissenschaftlich technischer Fortschritt für die Landwirtschaft. 1. 1964.

81. Ostromecki I. Roczniki Nauk Rolniczych. T. 71. S. F. Z. 3. Warszawa. 1956.

82. Reiter R. „Plast und Kautschuk“. 9. 1961.

83. Scholz A. „W. f. F. für Landwirtschaft. 1963. 4. 1.

84. Schwab O. „Agricultural Engineering Feb. 1955.

85. Schmitz. Wasserwirtschaft-Wassertechnik. 11. 1971.

86. Wesseling J. „Landbouwkundig Tijdschrift. 1961. 73. 9.

87. Wesseling J. Homma F. Hydraulic resistances of drain pipes.—Netherlands. I. Agr. Sc. 1967. 15. 3.

88. Wertz G. „Hydrological and Technical Problems of Land Drainage. Prague. 1965.

89. Zeldam O., Rescke K. „Wasser und Boden. 10. 1961.

Сокращения: „Z. f. K.“ — „Zeitschrift für Kulturtechnik“ „Z. f. K. u. F.“ — „Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung“.

Предисловие	3
Глава I. Расчет расстояний между дренами	5
§ 1. Конструкции дренажных труб из полимерных материалов	5
§ 2. Несовершенство водопримной поверхности дренажных труб	9
§ 3. Приток воды к дренажным трубам с продольным разрезом (щелью)	14
§ 4. Влияние размеров и расположения продольно-щелевой перфорации на водозахватную способность дрен	21
§ 5. Проверка расчетных зависимостей	30
§ 6. Влияние защитных фильтров на приточность воды к дренам	35
§ 7. Метод расчета расстояний между дренами	45
§ 8. Удельные контактные сопротивления	55
§ 9. Осушительное действие пластмассового дренажа	61
§ 10. Некоторые вопросы проектирования дренажной сети	76
Глава II. Гидравлические расчеты дренажных труб из полимерных материалов	80
§ 1. Основные положения	80
§ 2. Формулы для гидравлических расчетов труб	83
§ 3. Методика экспериментов	90
§ 4. Гидравлические сопротивления в гладкостенных полиэтиленовых трубах	95
§ 5. Гидравлические сопротивления в гладкостенных поливинилхлоридных трубах	101
§ 6. Гидравлические сопротивления в гофрированных дренажных трубах	107
§ 7. Пропускная способность пластмассовых и гончарных дренажных труб	117
§ 8. Распределение скоростей в полиэтиленовых дренажных трубах	119
§ 9. Гидравлические расчеты труб	123
Глава III. Расчеты прочности дренажных труб	129
§ 1. Условия работы и нагрузки	129
§ 2. Деформации труб, прочность материала	142
§ 3. Расчет подземных трубопроводов	145
§ 4. Расчет гофрированных дренажных труб	149
§ 5. Рациональная форма гофров	158

§ 6. Расчет гладкостенных дренажных труб	164
§ 7. Испытания дренажных труб на прочность	167
Глава IV. Технология строительства пластмассового дренажа	
§ 1. Приемка, транспортировка, хранение труб	170
§ 2. Производство строительных работ	172
§ 3. Защита дренажа от заиления	179
§ 4. Зимнее строительство дренажа	190
§ 5. Особенности строительства пластмассового дренажа	191
Приложения	193
Литература	200