



И.Ч. Казьмирук

аспирантка (Институт мелиорации
НАН Беларуси)

В.Т. Климков

доктор технических наук, профессор (БНТУ)



ПОГРЕШНОСТЬ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ГЕОТЕКСТИЛЕЙ

**рождению нормативов
предшествуют
научные исследования**

Российские и международные стандарты на фильтрационные испытания геотекстилей содержат описания методики и оборудования таких испытаний, но не определяют их погрешности.

В статье впервые предлагается способ оценки погрешности испытаний геотекстилей при фильтрации, нормальной к их плоскости, с использованием теории ошибок. Установлено, что при использовании стандартного оборудования эта погрешность не превышает $\pm 5\%$.

В последнее время при строительстве гидротехнических сооружений все более широкое применение находят геотекстиль — волокнистые материалы на основе полимеров. Они в значительной мере заменяют обратные фильтры из зернистых материалов и решают многие другие задачи, которые нельзя решить с помощью сыпучих материалов.

Как известно, подбор слоев обратных фильтров основан на непроницаемости зерен одного слоя через слой другого. Волокнистые же нетканые полотна не обладают подвижностью, т. е. при наложении полотна с тонкими волокнами на полотно с более грубыми волокнами не происходит перемещения из одного слоя сквозь другой, хотя взаимное проникновение их из одного полотна в другое в плоскости контакта бывает достаточно глубоким.

Однако этот положительный эффект снижается тем, что толщина геотекстилей в десятки раз меньше толщины обратных фильтров из сыпучих материалов. Особенно это проявляется при устройстве дренажных фильтров. Обсыпной фильтр увеличивает эффективный диаметр дрен, снижает входные градиенты напора и входные гидравлические сопротивления. Применение же тонких (в сравнении с зернистыми обратными фильтрами) волокнистых полотен эффективный диаметр увеличивает незначительно. Входные градиенты напора и сопротивления остаются высокими.

Главная задача дренажных фильтров, используемых при обертке дренажных труб, — не пропускать сквозь себя частицы грунта, которые могут осесть в полости труб, т. е. вызвать их заиливание. В то же время через них должны проходить такие частицы, которые течением воды в полости труб

могут транспортироваться в открытый канал. Поскольку грунт присыпки дрен имеет разнородную структуру, то при этом вынос мелких частиц влечет за собой осаждение на фильтре более крупных, образующих слой повышенной водопроницаемости. При оптимальном сочетании параметров этого процесса можно значительно увеличить эффективный диаметр дрены и повысить ее долговечность.

Если зернистые материалы изотропны в фильтрационном отношении, т. е. водопроницаемость их не зависит от направления движения потока воды, то водопроницаемость волокнистых материалов в направлении, перпендикулярном их плоскости, значительно отличается от водопроницаемости в их плоскости. Поэтому фильтрационные характеристики этих полотен определяют как в поперечном, так и в продольном направлении. Кроме того, в зависимости от характера укладки волокон проницаемость в продольном направлении может быть не изотропна. Например, в тканом же материале проницаемость вдоль основы может отличаться от проницаемости по утку.

При изготовлении нетканых материалов укладка волокон происходит в определенном порядке и поэтому, например, прочность их на разрыв в продольном направлении несколько больше, чем в поперечном. Однако в фильтрационном отношении это различие несущественно и их можно считать изотропными.

Другой существенной особенностью геотекстилей является их упругость и связанная с этим релаксация фильтрационных свойств под нагрузкой и во времени. Вместе с тем уменьшение проницаемости во времени носит затухающий характер, что позволяет сократить время испытаний.

Наиболее важной характеристикой геотекстилей как фильтрационного материала является коэффициент поперечной фильтрации, т. е. фильтрации в направлении нормальном к его плоскости. Для его определения известен ряд методик, различающихся между собой направлением фильтрации в приборе (сверху вниз или снизу вверх), величиной нагрузки на испытываемый образец, размерами образцов и другими деталями.

Теоретической основой испытаний является предположение о справедливости закона Дарси, которое практически всегда оправдывается, что скорость фильтрации линейно зависит от градиента напора. Оно выражается формулой

$$V = kl, \quad (1)$$

где V — скорость фильтрации;
 k — коэффициент фильтрации;

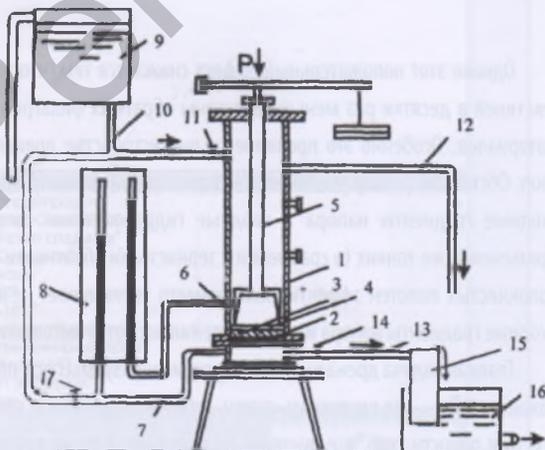


Рисунок 1 — Схема прибора для испытаний фильтрационных материалов

l — градиент напора; $l = \Delta H / \Delta L$;

ΔH — потери напора на пути ΔL .

Тогда
$$k = \frac{V \Delta L}{\Delta H}.$$

При объемном способе измерения расхода в конечном итоге

$$k = \frac{d^2 h \Delta L}{D^2 t \Delta H}, \quad (2)$$

где d — диаметр мерного цилиндра при измерении расхода;

h — высота столбика воды в цилиндре;

D — диаметр прибора, в который закладывается образец испытываемого материала;

t — время заполнения мерного цилиндра на высоту h .

Таким образом, погрешность измерения коэффициента фильтрации определяется погрешностью измерений отдельных неразлагаемых показателей, входящих в эту формулу.

С использованием теории ошибок [1] можно записать

$$\epsilon_k = 2\epsilon_d + \epsilon_h + \epsilon_l + 2\epsilon_D + \epsilon_t + \epsilon_H, \quad (3)$$

где $\epsilon_k, \epsilon_d, \epsilon_h, \epsilon_l, \epsilon_D, \epsilon_t, \epsilon_H$ — относительные погрешности измерений, соответственно, коэффициента фильтрации, внутреннего диаметра мерного цилиндра, высоты столбика воды в мерном цилиндре, длины пути фильтрации (толщина испытываемого образца или расстояние между пьезометрами на приборе при толщине образца, превышающей это расстояние), диаметра прибора, времени заполнения мерного цилиндра, показаний пьезометров.

Относительная погрешность определяется как отношение абсолютной погрешности измерений отдельных показателей к измеряемым величинам

$$\epsilon_d = \delta_d / d, \quad \epsilon_h = \delta_h / h \text{ и т. д.}, \quad (4)$$

где значком δ обозначены абсолютные погрешности измерений.

Основным оборудованием для определения поперечной фильтрации различных материалов является прибор, схема которого изображена на рисунке 1.

- 1 — цилиндр;
- 2 — решетка нижняя;
- 3 — образец испытываемого материала;
- 4 — решетка верхняя;
- 5 — нагружающее устройство;
- 6 и 7 — пьезометры;
- 8 — щит пьезометров;
- 9 — подающий бак;
- 10 — подающая труба;
- 11, 14 и 17 — краны;
- 12 — переливная труба;
- 13 — отводящая труба;
- 15 — переливное устройство;
- 16 — сборный резервуар.

Его главная деталь — цилиндр диаметром $D = (100 \dots 150)$ мм, на котором устанавливают пьезометры. Диаметр мерного цилиндра d обычно не превосходит 50 мм при цене делений $\delta_h = 1,0$ мм. Толщину испытываемого образца определяют с помощью индикаторов часового типа с погрешностью 0,01 мм. Расстояние между пьезометрами и диаметр прибора D определяют с помощью стальной линейки с абсолютной погрешностью $\delta_l = \delta_b = 1,0$ мм. Абсолютная погрешность определения показаний δ_h пьезометров равна 1,0 мм. Время заполнения мерного цилиндра $t \approx 20$ с, определяют обычно секундомером с ценой делений $\delta_t = 0,2$ с. При разности показаний пьезометров $\Delta h \approx 40$ мм относительная погрешность определения коэффициента фильтрации ϵ_k по формуле (3) составляет 4,2 %.

С другой стороны, какая же точность при расчетах, например, дренажа требуется? Вернее, как влияет коэффициент фильтрации защитного материала на расстояние между дренами?

В известном руководстве по дренажу Р. Эггельсманна [2] приведены формулы Хутхаудта и Эрнста для расчета расстояний между дренами. Однако эти формулы не учитывают влияние дренажных фильтров, хотя отмечается, что движение воды ко входным отверстиям в дренажном фильтре происходит с меньшими потерями напора по сравнению с трубой без фильтра.

В последнем нормативном документе — техническом кодексе установившейся практики ТКП-45-3.04-8-2005 [3] — рекомендуется рассчитывать расстояния между дренами по формулам С. Ф. Аверьянова и А. И. Мурашко. Эти же рекомендации содержатся в руководстве «Установление расстояний между дренами», утвержденном Минводхозом СССР в 1981 году [4].

Расстояние между дренами в наиболее типичном случае определяется по формуле

$$B = \sqrt{B_0^2 + (a(B_2 + 4f_0))} - a(B_2 + 4f_0), \quad (5)$$

где B — расстояние между дренами;

$$B_0 = 2h \sqrt{\frac{k_{ep}}{q} \left(1 + \frac{2a}{h}\right)};$$

$$B_2 = \frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi d}{2a}};$$

a — расстояние от дрены до водоупора;
 f_0 — безразмерное сопротивление по характеру вскрытия пласта;
 k_{fp} — коэффициент фильтрации грунта;
 q — интенсивность притока воды к дрене;
 h — превышение уровней воды в междренях над дренами;
 d — диаметр дрена;

$$f_0 = \frac{1}{\pi} \Phi_0;$$

$$\Phi_0 = 2,3 \left(\frac{k_{ep}}{k_\phi} - 1 \right) \lg \frac{d + 2\delta_\phi}{d} + \frac{k_{ep}}{k_\phi} C_1$$

$$C_1 = \frac{2S}{nl} \ln \frac{1}{\sin \frac{nl}{2S} \theta}$$

$$\theta = \arcsin \frac{\tau}{d},$$

где δ_ϕ — толщина фильтра;
 S — шаг перфорационных отверстий (щелей) в ряду;
 n — количество рядов перфорационных отверстий;
 l — длина щелей;
 τ — ширина щелей.

Расчеты, проведенные по формуле (5) для наиболее типичных условий: $k_{fp} = 1,0$ м/сут; $q = 0,6$ л/с/га; $n = 6$; $d = 0,05$ м; $S = 0,01$ м; $l = 0,004$ м; $a = 5,0$ м; $h = 0,5$ м; $\delta_\phi = 0,001$ м; $k_\phi = 20, 30, 50, 100$ и 150 м, показали (рисунок 2), что погрешность в 5 % при определении коэффициента фильтрации материала обкладки дренажа ведет к изменениям в расстоянии между дренами ± 6 %, что можно признать вполне приемлемым. Однако это не значит, что не следует далее совершенствовать методику испытаний этих материалов.

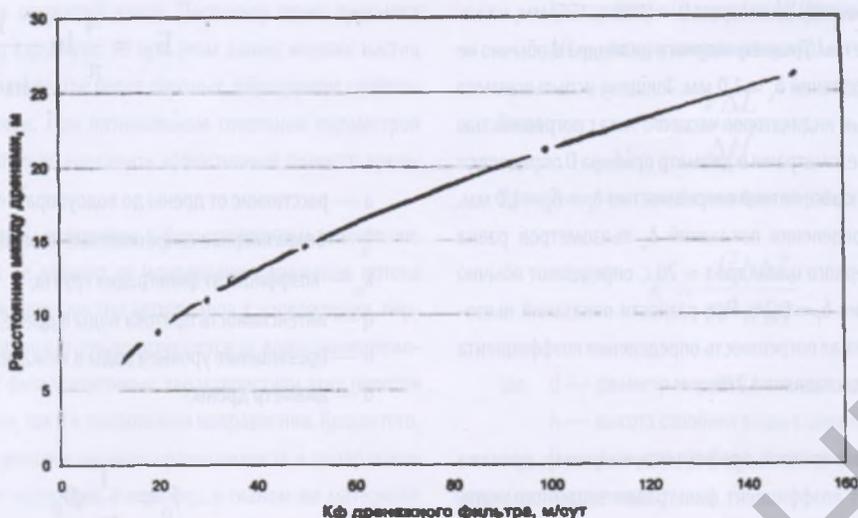


Рисунок 2 — График зависимости расстояний между дренажами от коэффициента фильтрации дренажного фильтра.

Руководство РПИ-82 [5] рекомендует в расчетах принимать значения коэффициента фильтрации обкладки труб $k_f = (20 \dots 30)$ м/сут. Таким образом, диапазон колебаний от среднего ($\pm 20\%$) превышает погрешность лабораторного определения коэффициента фильтрации.

В заключение следует отметить, что рассмотренные вопросы не охватывают всю проблему испытаний фильтрационных материалов. Особенности технологии этих испытаний намечается рассмотреть в других статьях.

Литература

1. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и студентов ВТУЗов. — М.: Наука, 1981. — 720 с.
2. Эгельсманн Р. Руководство по дренажу. — М.: Колос, 1984. — 247 с.
3. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования. ТКП — 45-3.04-8-2005 — Мн.: Минстройархитектуры, 2006. — 106 с.
4. Установление расстояний между дренажами. Дополнение 1 к Руководству ВТР-П-8-81. Утв. Минводхозом СССР 30.06.81, № 288. — Мн.: Ураджай, 1981. — 91 с.
5. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Белорусской ССР (РПИ-82), Часть II, кн. 1, — Мн.: Белгипроводхоз, 1985. — 280 с.



Рисунок 1 — Схема прибора для испытаний фильтрационных материалов