

ДРЕНАЖНЫЕ ПОРИСТЫЕ ТРУБЫ В МЕЛИОРАТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Как показали многочисленные исследования гончарного дренажа, одной из основных причин нарушения его нормальной работы является заиливание полостей трубок мелкими частицами грунта, проникающими вместе с водой через водоприемные отверстия. Заиливание приводит к ряду неблагоприятных явлений: уменьшается пропускная и водозахватная способности труб, а вместе с ними ухудшается и осушительное действие дренажа. Одним из путей предупреждения дрен от заиливания в период их укладки и эксплуатации является создание труб; в трубах водоприемные отверстия можно заранее строго задавать в необходимых пределах, которые не зависели бы от качества строительных работ и позволяли в любых грунтовых условиях укладывать их без защитного фильтра. При этом в процессе изготовления труб характеристики перфораций (количество и их размеры) можно регулировать в зависимости от механического состава дренируемого грунта и величины водной нагрузки. Таким требованиям могут отвечать трубы с пористыми фильтрующими стенками, так называемые трубофильтры, которые обеспечивают прием воды всей их поверхностью. Такие трубы выполняют одновременно функции водопроводящего канала и однослойного фильтра.

Борьба за увеличение водозахватной способности и долговечие службы дренажа связана именно с разработкой и внедрением пористых труб. Последние получили всеобщее признание, в связи с чем совершенствуются как конструкции, так и методы сооружения дренажей, выполненных из таких труб. В результате экспериментальных исследований в качестве материала для пористых труб были предложены керамика и бетон [1, 2]. При разработке рациональной конструкции труб основная задача состояла в том, чтобы подобрать такой состав материала и фильтрационное сопротивление, при которых поступление грунта в дрены было бы минимально допустимым, а кольматация стенок труб практически отсутствовал. Условие непротекания частиц скелета грунта через открытые поры в стенках труб и некольматируемости их мелкими частицами, вынос которых фильтрационным потоком из грунта является допустимым, могут быть обеспечены правильным подбором состава материала пористых труб.

Подбор пористых труб производился нами с таким расчетом, чтобы при работе дренажа предотвратить чрезмерную кольматацию пор фильтра, т.е. стенок труб, или непрерывное истечение грунта в дренаж. Иначе в первом случае на поверхности труб резко возрастут потери напора, в результате чего значительно снизится водозахватная способность дренажа; в другом случае дренаж заилится и быстро выйдет из строя.

В основу известных рекомендаций по подбору фильтров дренажей и буровых скважин положен принцип, который сводится к нормированию межслойного коэффициента $m = D_{50}/d_{50}$, где D_{50} -- средний диаметр зерен фильтра, а d_{50} -- средний диаметр частиц дренируемого или водоносного грунта. При этом в качестве граничных условий принимается устойчивая работа дренажа без пескования или "оптимальная" кольматация. Тогда в первом случае берется предельное значение соотношения $m_{\text{доп}} = D_{50}/d_{50}$ [3], а в другом исходят из такого значения m , чтобы на фильтре имели место минимальные потери напора [4]. Такой подход к решению задачи подбора фильтров с сыпучей обсыпкой не может быть перенесен на "жесткие" фильтры, которые в силу технологических особенностей изготовления обладают иной структурой порового пространства. Последняя существенным образом изменяет характер суффозии и кольматации в пористых трубах по сравнению с сыпучими фильтрами. Отсюда следует, что предполагаемая устойчивость D_{50}/d_{50} в действительности не имеет места, так как размеры пор находятся в зависимости от многих факторов (вид вяжущего и его дозировка, степень и способ уплотнения, технология изготовления и др.), которые изменяют значение m в значительных пределах.

Представляется более правильным производить подбор пористых труб по коэффициенту фильтрации, который одновременно может служить и основной характеристикой их водопроницаемости. Принимая за расчетный параметр K_{ϕ}° , учитываем "жесткую" структуру порового пространства материала труб. Однако K_{ϕ}° характеризует фильтрационную способность "чистого" фильтра и не учитывает процесс взаимодействия последнего с дренируемым грунтом. В связи с этим фильтрационную способность пористых труб следует оценивать расчетным коэффициентом фильтрации

$$K_p = f(K_{\phi}^{\circ}, K_{\text{гр}}),$$

где K_{ϕ}° -- начальная проницаемость труб; $K_{\text{гр}}$ -- коэффициент фильтрации дренируемого грунта.

Таблица 1

Грунты	d_{10} ,	d_{60} ,	d_{50} ,	$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$
	мм	мм	мм	
Песок среднезернистый	0,19	0,43	0,39	2,26
" мелкий	0,11	0,23	0,21	2,09
" "	0,09	0,23	0,20	2,56
" "	0,075	0,22	0,19	2,93
" "	0,085	0,215	0,19	2,53
" "	0,08	0,20	0,18	2,50
" "	0,065	0,19	0,17	2,92
пылеватый	0,06	0,17	0,15	2,83

Содержание частиц, %, диаметром, мм						Коэффициент фильтрации $K_{гр}$ м/сут
>1,0	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	<0,05	
5,0	18,25	62,25	10,0	4,0	0,5	11,2
-	10,00	23,73	60,0	6,0	0,22	7,6
3,0	5,00	22,6	58,0	7,2	4,22	5,8
1,3	6,8	20,5	56,8	9,5	5,1	3,4
0,7	5,9	21,7	58,3	11,3	2,1	2,6
-	4,1	13,6	67,0	14,4	0,9	1,8
-	-	15,8	63,5	16,8	3,9	1,3
-	-	2,0	72,0	20,0	6,0	0,9

Инженерный подход к решению данной задачи состоит в выборе таких значений $K_{ф}^{\circ}$ и $K_{гр}$, которые обеспечивали бы максимальную водозахватную способность труб при минимальных потерях напора в них и работу дренажа без заилиения.

При такой постановке вопроса мы воспользовались теорией кольматации, применение которой значительно облегчает решение вопроса о подборе допустимых значений $K_{ф}^{\circ}$ и $K_{гр}$. Как известно, эффект кольматации фильтров принято рассматривать как результат двух одновременно протекающих, но различных по физической природе явлений:

а) наложение слоя дренируемого грунта на поверхность фильтра, вызывающее снижение водозахватной способности последнего за счет образования микросводов над входными отверстиями фильтра (поверхностная кольматация); б) механическая закупорка пор фильтра мелкими частицами грунта, находящимися в фильтрующем потоке (внутренняя кольматация).

С учетом изложенных соображений нами сделана оценка суффозионной и кольматационной устойчивости пористых труб по соотношению коэффициентов фильтрации трубы $K_{ф}^{\circ}$ и дренируемого грунта $K_{гр}$.

Для установления допустимых соотношений $K_{ф}^{\circ}/K_{гр}$ на фильтрационной установке типа Дарси нами проводились опыты, в основу которых была положена степень кольматации фильтров. Методика исследований заключалась в следующем. После определения по стандартной методике начального коэффициента фильтрации образца $K_{ф}^{\circ}$ последний загружали грунтом, высота слоя которого составляла 10 см, и при напоре $H=100$ см исследовали их совместную работу. Для задержки просыпавшегося через образец грунта перед сливным бачком подключали

песколовку в виде 5-литровой бутылки, что позволяло по появлению в ней песка отмечать не только начало, но и продолжительность выноса. Каждый из образцов фильтра поочередно испытывался с несколькими грунтами (табл. 1), обеспечивающими работу дренажа без чрезмерной механической суффозии (вынос грунта не более 3% по весу). В ходе опытов определяли: коэффициент фильтрации системы грунт-фильтр $K_{к}$, представляющий собой средний коэффициент фильтрации двухслойной системы (фильтр, равный толщине стенки дренажной трубы, и такой же слой грунта на нем) и являющийся по существу показателем поверхностной кольматации; коэффициент фильтрации образца после его работы в контакте с грунтом $K_{с}$, характеризующий степень внутренней кольматации. Контактный коэффициент фильтрации $K_{к}$ определялся до получения устойчивых значений $K = const$.

В результате сравнения $K_{ф}$ и $K_{с}$ и сопоставления их с начальным значением $K_{ф}^{\circ}$ для различных грунтов при конкретном $K_{с}^{\circ}$ определяли соотношение $K_{ф}^{\circ}/K_{с}^{\circ}$, соответствующее допустимой кольматации. Чтобы иметь возможность рассматривать все сочетания $K_{ф}^{\circ}/K_{с}^{\circ}$ в качестве характеристики степени кольматации мы приняли относительные показатели кольматации, характеризующие как поверхностную, так и внутреннюю кольматации, т.е. отношения $K_{ф}^{\circ}/K_{к}$ и $K_{с}^{\circ}/K_{ф}^{\circ}$. В этом случае наилучшему сочетанию $K_{ф}^{\circ}/K_{с}^{\circ}$ будут соответствовать минимальные значения $K_{ф}^{\circ}/K_{к}$ и $K_{с}^{\circ}/K_{ф}^{\circ}$. Численный анализ результатов (табл. 2) показывает следующее:

Таблица 2

Коэффициент фильтрации, м/сут				$K_{\phi}^{\circ}/K_{\text{гр}}$	$K_{\phi}^{\circ}/K_{\text{к}}$	$K_{\phi}^{\circ}/K_{\phi}$
грунта $K_{\text{гр}}$	сильтра начальный K_{ϕ}°	системы фильтр- грунт- $K_{\text{к}}$	фильтра кольма- тирован- ного K_{ϕ}			
11,2	470	51,6	398	42,0	9,1	1,18
7,6	470	43,9	376	61,8	10,7	1,25
5,8	470	39,5	356	81,0	11,9	1,32
3,4	470	30,9	280	138,1	15,2	1,68
2,6	470	27,4	224	181,0	17,2	2,1
7,6	364	38,7	325	47,9	9,4	1,12
5,8	364	35,7	303	62,7	10,2	1,2
3,4	364	27,2	237	107,0	13,4	1,54
2,6	364	24,8	207	140,0	14,7	1,76
5,8	220	23,2	191	37,9	9,5	1,15
3,4	220	20,0	169	64,7	11,0	1,3
2,6	220	19,1	169	84,5	11,5	1,3
1,8	220	15,4	135	122,2	14,3	1,63
3,4	136	16,0	123	40,0	8,5	1,1
2,6	136	12,9	118	52,3	10,5	1,15
1,8	136	12,8	101	75,5	10,6	1,35
1,3	136	10,9	94,5	104,6	12,5	1,44
2,6	76	8,35	70,1	29,2	9,1	1,07
1,8	76	7,7	68	42,2	9,9	1,12
1,3	76	7,6	63	58,5	10,0	1,2
0,9	76	6,1	55	84,5	12,4	1,38
2,6	32	7,3	31	12,3	4,4	1,04
1,8	32	5,3	30	17,8	6,0	1,07
1,3	32	4,0	30	24,6	8,0	1,07
0,9	32	3,5	28	35,6	9,2	1,13

а) явление кольматации фильтров имеет место при различных сочетаниях K_{ϕ}° и $K_{\text{гр}}$, причем чем больше величина $K_{\phi}^{\circ}/K_{\text{гр}}$, тем больше и степень кольматации; б) степень снижения начального коэффициента фильтрации труб K_{ϕ}° за счет внутренней кольматации в 8--9 раз меньше, чем за счет наружной; в) увеличение $K_{\text{гр}}$ вызывает возрастание $K_{\text{к}}$ при очевидном преобладающем влиянии коэффициента фильтрации грунта $K_{\text{гр}}$ на среднее значение коэффициента фильтрации системы фильтр--грунт; г) предельное (максимальное) значение $K_{\phi}^{\circ}/K_{\text{гр}}$ можно определить только для наименьшего значения $K_{\text{гр}}$ принятого

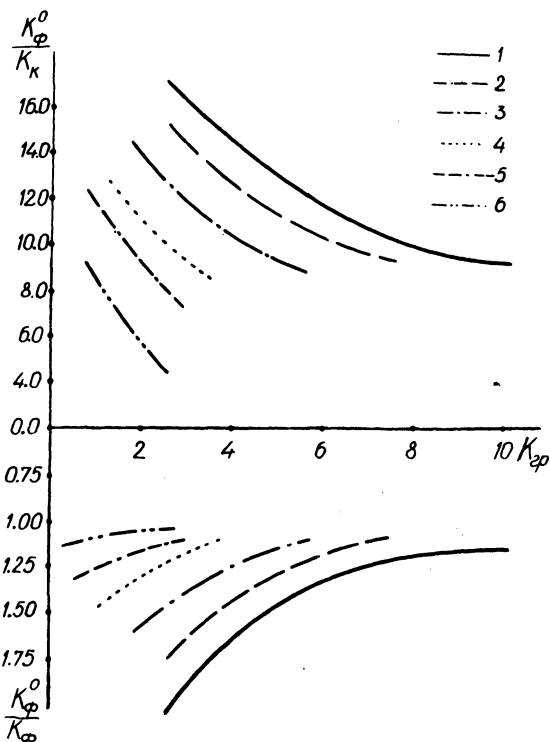


Рис. 1. Зависимость показателей кольматации K_{ϕ}^0 / K_{κ} и K_{ϕ}^0 / K_{ϕ} от водопроницающей способности грунта $K_{гр}$ и фильтра K_{ϕ}^0 :
 1, 2, 3, 4, 5, 6 — соответственно $K_{\phi}^0 = 470; 364; 220; 136; 76; 32$ м/сут.

для каждого K_{ϕ}^0 из условия отсутствия механической суффозии, сопровождающейся выносом скелетных частиц грунта.

Анализ функций $(K_{\phi}^0 / K_{\kappa}, K_{\phi}^0 / K_{\phi}) = f(K_{гр})$, представленных на рис. 1, показывает, что для каждого образца с определенной фильтрационной способностью K_{ϕ}^0 с увеличением $K_{гр}$ относительные показатели кольматации уменьшаются, приближаясь (при $K_{гр} \rightarrow K_{\phi}^0$) к единице. Наоборот, при уменьшении значения $K_{гр}$ эти показатели кольматации увеличиваются. Несмотря на общий характер зависимостей $(K_{\phi}^0 / K_{\kappa}, K_{\phi}^0 / K_{\phi}) = f(K_{гр})$,

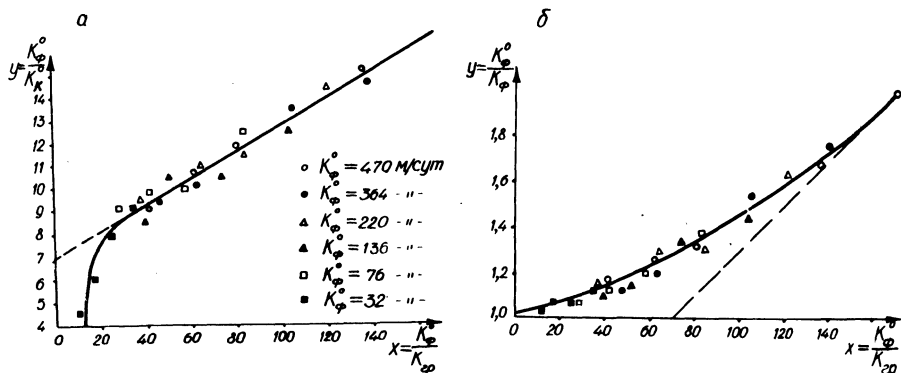


Рис. 2. Зависимость показателя поверхностной (а) и внутренней (б) кольматации от соотношения $K_{\phi}^0 / K_{гр}$.

отметим, что при увеличении значения K_{ϕ}^0 кривые имеют более пологое очертание и приближаются к асимптотам при меньших значениях $K_{гр}$.

Как видно из табл. 2, соотношение коэффициентов фильтрации труб и грунтов $K_{\phi}^0 / K_{гр}$ различно для всех исследуемых значений K_{ϕ}^0 . Однако если принять соотношение $K_{\phi}^0 / K_{гр}$ за ос-

нову сравнения, то можно наблюдать (рис. 2) определенную закономерность изменения $K_{\phi}^0 / K_{к}$ и $K_{\phi}^0 / K_{гр}$ от $K_{\phi}^0 / K_{гр}$. Математическая обработка результатов опытов по данным табл. 2 дает довольно высокую тесноту связи $K_{\phi}^0 / K_{к} = f(K_{\phi}^0 / K_{гр})$ и $K_{\phi}^0 / K_{гр} = f(K_{\phi}^0 / K_{к})$. Корреляционные отношения представленных зависимостей соответственно равны 0,895 и 0,985.

Анализируя зависимости степени кольматации пористых труб от $K_{\phi}^0 / K_{гр}$, можно установить предельно допустимые соотношения коэффициентов фильтрации грунта и фильтра, при которых кольматация пористых труб не будет превышать определенных величин.

Рассматривая графики функции $(K_{\phi}^0 / K_{к}, K_{\phi}^0 / K_{гр}) = f(K_{\phi}^0 / K_{гр})$, можно установить, что зависимости в основном четко выражены двумя участками различной кривизны. Первая зависимость $K_{\phi}^0 / K_{к} = f(K_{\phi}^0 / K_{гр})$ (рис. 2, а) имеет большую кривизну у начала кривой и осей координат и далее незначительное выполаживание, переходящее в прямую линию до $K_{\phi}^0 / K_{гр} = 160$, т.е. у начала кривой имеется участок более интенсивного приращения величины $K_{\phi}^0 / K_{к}$ с увеличением $K_{\phi}^0 / K_{гр}$, что свидетельствует о возрастающей поверхностной кольматации на этом участке. Числен -

ный анализ изменения величины приращения K_{ϕ}^0/K_{ϕ}^k функции $K_{\phi}^0/K_{\phi}^k = f(K_{\phi}^0/K_{\phi}^{гр})$ на каждые десять единиц приращения $K_{\phi}^0/K_{\phi}^{гр}$ обнаруживает своего рода точку перегиба кривой, за которой наблюдается резкое падение приращения K_{ϕ}^0/K_{ϕ}^k с 2,3 на 0,6, являющееся практически постоянной величиной. Точка перегиба этой зависимости соответствует отношению $K_{\phi}^0/K_{\phi}^{гр} = 30$, а участок, выраженный прямой линией, соответствует интервалу изменения K_{ϕ}^0/K_{ϕ}^k от 30 до 160.

При рассмотрении же зависимости $K_{\phi}^0/K_{\phi}^k = f(K_{\phi}^0/K_{\phi}^{гр})$ (рис. 2, б), наоборот, наблюдается ее пологий (плавный) характер у начала осей координат с последующим постоянным подъемом, что свидетельствует о сравнительно медленном росте внутренней кольматации на интервале $10 \leq K_{\phi}^0/K_{\phi}^k \leq 160$. При соотношениях $K_{\phi}^0/K_{\phi}^k > 160$ кривая переходит в прямую с постоянным приращением функции $\Delta K_{\phi}^0/K_{\phi}^k = 1$ на каждые $\Delta K_{\phi}^0/K_{\phi}^k = 10$.

Физический смысл рассматриваемых зависимостей заключается в преимущественном влиянии поверхностной кольматации до значения $K_{\phi}^0/K_{\phi}^k = 30$ и интенсивной внутренней кольматации, переходящей затем в вынос скелетных частиц грунта через фильтр, при $K_{\phi}^0/K_{\phi}^k > 160$. Следовательно, предельно допустимое соотношение $K_{\phi}^0/K_{\phi}^{гр}$ находится в пределах $30 \leq K_{\phi}^0/K_{\phi}^k \leq 160$.

Таким образом, в результате проведенных исследований суффозионно-кольматационных процессов установлено, что явление кольматации пористых труб имеет место при различных сочетаниях K_{ϕ}^0 и $K_{\phi}^{гр}$, причем чем больше величина относительной проницаемости системы $K_{\phi}^0/K_{\phi}^{гр}$, тем выше и степень кольматации.

Следующим этапом работы было изучение процесса снижения водопропускной способности труб во времени и выявление существования какого-то предельного значения кольматации при допустимом значении $K_{\phi}^0/K_{\phi}^{гр}$. Опыты по оценке степени изменения K_{ϕ}^0 во времени проводили после отыскания для каждого K_{ϕ}^0 допустимого значения $K_{\phi}^{гр}$, ибо произвольный выбор типа грунта не позволил бы сделать строгие обобщения.

Эксперимент состоял в измерении расхода при фильтрации воды сквозь слой несвязного грунта и фильтр через определенные промежутки времени до получения стабильных, не изменяющихся во времени значений расхода. Для устранения влияния растворенного в воде воздуха на процесс кольматации вода перед поступлением в прибор пропусклась через стекло-фильтр. Постоянный напор фильтрующего потока поддерживали с помощью напорного бачка с водосливом.

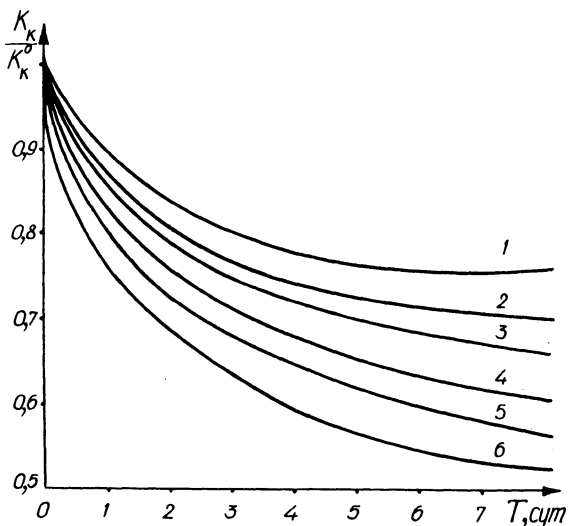
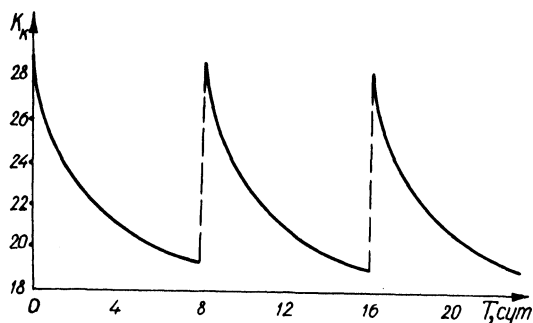


Рис. 3. Изменение водопрооницаемости фильтров во времени:
 1— $K_{\phi}^0=470$ м/сут, $K_{гр} = 5,8$ м/сут; 2—соответственно 364; 3,4;
 3—220; 2,6 м/сут; 4—136;
 1,8 м/сут; 5—76; 1,3;
 6—32; 0,9.

Изучение динамики процесса заиливания фильтров осуществлялось в соответствии с установленным неравенством $30 \leq \frac{K_{\phi}^0}{K_{гр}} \leq 160$. Если перевести абсолютные значения коэффициента фильтрации K на относительные, выраженные в долях единицы от начального K_{ϕ}^0 , то можно представить результаты опытов в виде сопоставимых графиков (рис. 3). Для различных сочетаний K_{ϕ}^0 и $K_{гр}$ зависимость K/K_{ϕ}^0 имеет одинаковый качественный характер. В начале эксперимента относительный коэффициент фильтрации равен единице. По мере увеличения объема профильтровавшейся воды коэффициент фильтрации уменьшается, причем это уменьшение наиболее выражено в начальный момент опыта. Затем кривые явно стремятся к асимптотам.

Различным несвязным грунтам, а следовательно, различным по водопрооницаемости фильтрам соответствуют вполне определенные предельные значения колюматации, причем с увеличением $K_{гр}$ величина понижения водопрооницаемости уменьшается. Так, при $K_{\phi}^0=470$ м/сут и $K_{гр}=5,8$ м/сут максимальное снижение начального коэффициента фильтрации системы грунт—фильтр составляет всего 24%, а при $K_{\phi}^0=32$ м/сут и при $K_{гр}=0,9$ м/сут почти 50%. Однако следует подчеркнуть, что даже для мелких несвязных грунтов величина остаточного коэффициента фильтрации намного превышает водопрооницаемость дренируемого грунта и

Рис. 4. Восстановление фильтрационных свойств фильтров промывкой ($K_{\phi}^0 = 220$ м/сут, $K_{гр} = 2,6$ м/сут).



фильтрационная способность пористых труб остается достаточной для обеспечения дренирующего эффекта и отвода избытка грунтовых вод в самых неблагоприятных почвенно-грунтовых и гидрогеологических условиях.

Время, в течение которого происходит основное изменение фильтрационных свойств труб, различно для каждого грунта и условий опытов и колебалось от 5 до 8 суток.

Изменение фильтрационных свойств происходит за счет уплотнения грунта под действием потока воды и происходящих процессов поверхностной и внутренней кольматации (рис. 3).

Для проверки правильности данного положения был выполнен следующий эксперимент. После стабилизации водопроницаемости системы фильтр-грунт поток воды был направлен в обратную сторону, т.е. осуществлена промывка фильтра обратным током воды. Продолжительность промывки колебалась от 3 до 8 ч. За этот период восстанавливалась первоначальная структура грунта в приконтактной зоне и водопроницаемость фильтра была очень близка к начальной (рис. 4). Следует отметить, что существование предельной кольматации и восстановление начальных фильтрационных свойств труб обратной промывкой характерны именно для несвязных грунтов и природа этих явлений заключается в возможности относительного перемещения частиц грунта в приконтактной зоне.

В ы в о д ы

1. Для подбора пористых труб из условия устойчивости к суффозии и кольматации получены значения предельно-допустимых отношений коэффициента фильтрации труб к коэффициенту фильтрации практически несуффозионных несвязных дренируемых грунтов, которые находятся в пределах $30 \leq K_{\phi} / K_{гр} \leq 160$. Это неравенство позволяет подбирать пористые трубы для раз-

личных несвязных практически несупфозных грунтов. При этом снижение водопроницаемости системы грунт--фильтр во времени для самых мелких несвязных грунтов ($K_{гр} = 0,9$ м/сут) не превышает 50%.

2. Кольматация пористых труб достигает предельных значений и в ходе дальнейшей фильтрации практически не изменяется, а водопроницаемость остается достаточной для обеспечения дренируемого эффекта при всех реальных условиях работы дренажа.

Л и т е р а т у р а

1. Жуковский М.П. Прочность мелкопористого бетона на местных заполнителях как материала для фильтрующих дренажных труб. -- В сб.: Гидротехника, мелиорация и использование осушенных земель. Минск, 1968. 2. Петров Л.К., Жуковский М.П., Жолнеровский Д.А. Пористые проницаемые дренажные керамические трубы и их основные свойства. -- В сб.: Мелиорация и гидротехника. Вып. 81. Горки, 1971. 3. Елисеев М.Я. Клееные гравийные фильтры для буровых скважин. -- "Гидротехника и мелиорация", 1955, № 3. 4. Николодышев И.С. Исследования фильтра из пористого бетона. -- "Гидротехника и мелиорация", 1958, № 10.

М.П. Жуковский

МОРОЗОСТОЙКОСТЬ ПОРИСТЫХ БЕТОННЫХ ТРУБ

В связи с огромным и постоянно растущим объемом капитального строительства в нашей стране большое значение приобретает вопрос совершенствования конструкции дренажа и снижения его стоимости, так как ряд объектов сельскохозяйственного, дорожного и промышленного строительства нуждается в инженерной защите от подтопления грунтовыми водами. С этой целью устраивается чаще всего горизонтальный трубчатый дренаж. Для защиты дренажа от заиления и повышения его водозахватывающей способности требуется устройство вокруг труб многослойного песчано-щебеночного фильтра. Устройство такого дренажа представляет известные трудности при его укладке и не всегда обеспечивает высокое качество дренажа. Поэтому в настоящее время наметилась тенденция к широкому