

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

применению в неагрессивных средах пористых бетонных труб [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Большинство работ в этой области посвящено изучению крупнопористого бетона, использование которого для изготовления труб нецелесообразно ввиду необходимости устройства двуслойного переходного фильтра. Стремление улучшить конструкции дренажа при одновременном уменьшении объема фильтровой обсыпки вызывает необходимость исследования пористых бетонных труб, изготовленных на заполнителе, фракционированном мелком, и цементном вяжущем.

Основная и практически важная характеристика, с которой приходится считаться при проектировании дренажных сооружений, — это морозостойкость пористых труб, поскольку они могут находиться в зоне сезонного промерзания грунта и, следовательно, подвергаться совместному действию отрицательной температуры и воды. Однако данных по морозостойкости пористых бетонных труб, работающих в контакте с водой и морозом, не имеется, что и побудило нас провести специальные исследования по этому вопросу.

Материал дренажных труб имеет пористо-капиллярную структуру и в условиях эксплуатации насыщается водой. В результате совместного действия поровой воды и мороза может произойти разрушение стенок труб за счет увеличения объема воды при переходе в лед на 9% [7] и разности коэффициентов температурного расширения льда и скелета материала [8]. В замкнутом объеме при этом развивается давление, которое создает напряжение, превышающее предел прочности материала труб на растяжение [7]. Чтобы избежать опасных напряжений, вода, замерзающая в порах материала, должна свободно расширяться, а избыточная беспрепятственно вытесняться из этих пор в смежные, свободные от воды. Этим требованиям отвечает пористый бетон на мелких заполнителях. Так как поры в этом материале открытые и крупные, то вода вследствие малых капиллярных сил не удерживается и вытекает из них, в менее крупных удерживается лишь частично. Исследованиями установлена количественная связь между структурой пор и морозостойкостью материала [9]:

$$C = \frac{V_p}{V_{оп} - V_p} 100\% \geq 9\%,$$

где  $C$  — структурная характеристика, %;  $V_p$  — объем резервных пор;  $V_{оп}$  — объем пор с размером,  $p$  превышающим нижний предел опасных пор.

Таблица 1. Результаты испытания образцов из мелкопористого

Номинальный состав по весу	Состав заполнителя по весу, %, при диаметре, мм				Средний диаметр $D_{50}$ , мм
	3--2	2--1	1,0--0,5	0,5--0,25	
1:6	100	-	-	-	2,50
	-	100	-	-	1,50
	-	-	100	-	0,75
	-	-	-	100	0,375
	25	25	25	25	1,0
	50	50	-	-	2,0
	-	50	50	-	1,0
	-	-	50	50	0,5
	33,3	33,3	33,3	-	1,5
	-	33,3	33,3	33,3	0,75
1:8	100	-	-	-	2,5
	-	100	-	-	1,5
	-	-	100	-	0,75
	-	-	-	100	0,375
	25	25	25	25	1,0
	50	50	-	-	2,0
	-	50	50	-	1,0
	-	-	50	50	0,5
	33,3	33,3	33,3	-	1,5
	-	33,3	33,3	33,3	0,75

Эта формула применима для оценки морозостойкости материалов, характеризующихся лишь 15 циклами попеременного замораживания и оттаивания. Поэтому определение морозостойкости производилось нами экспериментально как по стандартной, так и по методике БелНИИмВХ [10]. Для исследования были приняты образцы 5\*5\*5 см и пористые трубы, изготовленные на фракционированных одно- и разнозернистых песках.

Эксперименты с образцами разделены на три серии. Опыты первой серии проводились на образцах, изготовленных из бетонов одного и того же номинального состава, но на заполнителях различной крупности. Результаты этих испытаний приведены в табл. 1, из рассмотрения которой можно заключить, что все образцы, за исключением состава бетона на заполнителе 0,5--0,25 мм, выдерживают 35 циклов замораживания и оттаивания с допустимым снижением прочности от 16

бетона на морозостойкость по стандартной методике

Коэффициент неоднородности $\eta = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	В/Ц	Расход цемента, кг на 1 м <sup>3</sup> бетона	Коэффициент морозостойкости $K_M$ при количестве циклов замораживания и оттаивания			
			15	25	35	50
1,24	0,375	254	1,0	0,88	0,82	0,73
1,45	0,40	260	1,0	0,89	0,80	0,71
1,45	0,46	252	0,99	0,86	0,77	0,69
1,45	0,555	234	0,74	0,63	0,54	0,41
4,0	0,395	278	1,0	0,91	0,84	0,72
1,83	0,385	265	1,0	0,93	0,86	0,72
2,00	0,410	266	1,0	0,90	0,81	0,71
2,00	0,50	251	0,95	0,84	0,76	0,68
2,77	0,40	266	1,0	0,90	0,82	0,71
2,77	0,46	262	0,98	0,86	0,78	0,69
1,24	0,45	195	0,98	0,89	0,79	0,70
1,45	0,50	199,5	0,97	0,85	0,76	0,63
1,45	0,595	192,5	0,92	0,83	0,72	0,61
1,45	0,45	174,5	0,67	0,58	0,49	0,33
4,0	0,505	213	0,95	0,81	0,73	0,60
1,83	0,455	213	0,97	0,84	0,76	0,64
2,0	0,505	213	0,96	0,82	0,73	0,58
2,0	0,66	192	0,88	0,76	0,63	0,53
2,77	0,51	203,5	0,94	0,83	0,74	0,58
2,77	0,6	199,5	0,92	0,80	0,69	0,53

Таблица 2. Влияние В/Ц на морозостойкость пористого бетона.

Номинальный состав бетона по весу	Состав заполнителя по весу, %, при диаметре, мм		Коэффициент морозостойкости $K_M$ при количестве циклов замораживания и оттаивания	
	3--2	2--1	15	25
1:6	100	-	1,0	0,88
	100	-	0,83	0,71
	-	100	1,0	0,89
	-	100	0,78	0,62
	50	50	1,0	0,93
	50	50	0,75	0,64
1:7	50	50	0,98	0,87
	50	50	0,76	0,61

до 24%; с увеличением крупности однофракционных заполнителей ( $D_{50}$ ) морозостойкость повышается.

Цель опытов второй серии — проверка морозостойкости образцов, изготовленных из бетонов на заполнителях одной крупности, но разного номинального состава (табл.1). Приведенные данные показывают, что морозостойкость бетона при всех циклах замораживания и оттаивания с уменьшением расхода цемента понижается.

Существенное влияние на морозостойкость бетона оказывает водоцементное отношение. Коэффициент морозостойкости пористого бетона, содержащего оптимальное количество воды как на одно-, так и многофракционных заполнителях, понижается с ростом оптимального значения В/Ц. С другой стороны, получение морозостойкого бетона возможно лишь при оптимальном значении В/Ц для данного состава. Бетоны, содержащие оди-

наковое количество цемента, но имеющие значение В/Ц выше оптимальных, менее морозостойки (табл. 2). Пониженная морозостойкость объясняется наличием в цементном камне мельчайших пор и усадочных трещин, которые образуются за счет испарения части воды: при твердении бетона в случае более высоких значений В/Ц.

В третьей серии опытов образцы испытывались в полупогруженном и погруженном в воду состоянии. Образцы выдержали без значительной потери прочности лишь 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания (табл. 3). Коэффициент морозостойкости ( $K_M$ ) образцов, испытанных в полупогруженном состоянии, оказался меньше  $K_M$  образцов, испытанных в погруженном состоянии. Влажность и температура распределены здесь неравномерно по сечению образцов и значительны знакопеременные деформации, приводящие к ослаблению их структуры. Дренажные трубы в натуральных условиях могут находиться

Таблица 3. Морозостойкость образцов из пористого бетона,

Номинальный состав по весу	Состав заполнителя по весу, %, при диаметре, мм			
	3--2	2--1	1,0--0,5	0,5--0,25
1:6	100	-	-	-
	-	100	-	-
	-	-	100	-
	25	25	25	25
	50	50	-	-
	-	50	50	-
	-	-	50	50
	33,3	33,3	33,3	-
	-	33,3	33,3	33,3
	100	-	-	-
1:8	-	100	-	-
	-	-	100	-
	25	25	25	25
	50	50	-	-
	-	50	50	-
	-	-	50	50
	33,3	33,3	33,3	-
	-	33,3	33,3	33,3
	-	-	-	-
	-	-	-	-

контактирующих с водой

В полупогруженном состоянии			В погруженном состоянии		
Коэффициент морозостойкости $K_M$ при количестве циклов замораживания и оттаивания					
15	25	35	15	25	35
0,90	0,81	0,70	0,98	0,86	0,79
0,89	0,80	0,64	0,96	0,85	0,78
0,86	0,76	0,63	0,93	0,82	0,70
0,88	0,77	0,65	0,96	0,88	0,78
0,89	0,80	0,68	0,95	0,87	0,78
0,88	0,77	0,66	0,97	0,82	0,77
0,85	0,76	0,52	0,92	0,79	0,70
0,88	0,78	0,65	0,96	0,83	0,78
0,86	0,75	0,58	0,93	0,81	0,69
0,86	0,73	0,63	0,95	0,84	0,76
0,85	0,74	0,58	0,93	0,82	0,75
0,80	0,72	0,49	0,92	0,81	0,70
0,85	0,69	0,48	0,93	0,78	0,68
0,86	0,70	0,53	0,95	0,81	0,75
0,84	0,68	0,47	0,92	0,79	0,72
0,78	0,57	0,41	0,86	0,75	0,56
0,84	0,67	0,50	0,90	0,80	0,72
0,79	0,58	0,43	0,89	0,77	0,62

Таблица 4. Сравнительная морозостойкость пористых труб

Наименование изделий	Номинальный состав по весу	Состав заполнителя по весу, %, при диаметре, мм		
		3--2	2--1	1--0,5
Образцы	1:6	100	-	-
Трубы	1:6	100	-	-
Образцы	1:6	-	100	-
Трубы	1:6	-	100	-
Образцы	1:6	-	-	100
Трубы	1:6	-	-	100

в зоне промерзания и переменного уровня воды, поэтому такие исследования, проведенные в полупогруженном состоянии, наиболее отвечают действительности.

Испытания пористых труб из бетона на морозостойкость по стандартной методике показали, что они выдерживают большее количество циклов замораживания и оттаивания, чем образцы из того же состава (табл. 4). Это явление связано с вытеснением избыточной воды из пор во время образования льда, которая при этом перемещается не только в свободные поры внутри материала, но и выходит на поверхность трубы. Чем меньше толщина трубы, т.е. чем короче путь прохождения воды, тем скорее протекает процесс ее отжатия на поверхность и тем меньше вероятность возникновения больших напряжений, приводящих к разрушению материала труб.

При определении морозостойкости труб, испытанных в погруженном и полупогруженном состояниях, преимущества последних, как тонкостенных конструкций, перед образцами не обнаружено.

Проведенные исследования морозостойкости пористых труб доказывают пригодность их использования в конструкциях горизонтальных дренажей мелкого заложения, находящихся в условиях сезонного промерзания грунта.

#### Л и т е р а т у р а

1. Барекян А.Ш., Челышев А.К., Снегирев И.А. Работоспособность дренажных труб из крупнопористого бетона. — "Гидротехника и мелиорация", 1968, № 4. 2. Восканян В.А. Индустриальное устройство дренажа с помощью трубофильтров. М.—Л., 1963. 3. Низовкин Г.А. Дренажи с дренирующими тру-

и образцов одних и тех же составов

По стандартной методике				В погруженном состоянии			В полупогруженном состоянии		
Коэффициент морозостойкости, $K_{мрз}$ при количестве циклов замораживания и оттаивания									
15	25	50	75	15	25	35	15	25	35
1,0	0,88	0,73	-	0,98	0,86	0,76	0,90	0,81	0,70
1,0	1,00	0,98	0,91	0,97	0,85	0,76	0,91	0,82	0,69
1,0	0,89	0,79	-	0,96	0,85	0,75	0,89	0,80	0,64
1,0	1,0	0,96	0,90	0,97	0,84	0,73	0,89	0,81	0,63
0,99	0,86	0,69	-	0,93	0,82	0,74	0,86	0,76	0,63
1,0	1,0	0,91	0,84	0,94	0,84	0,73	0,87	0,78	0,64

бами.—"Путь и путевое хозяйство", 1962, №7. 4. Овсянников Л.Ф. Сооружение дренажей машиной системы ЦНИИ МПС. М., 1967. 5. Дегтярев Б.М. Коринченко И.В. Сборные дренажи из пористых бетонных труб. М., 1968. 6. Дегтярев Б.М., Ляпидевский Б.В. Использование трубофильтров из пористого бетона для дренажей. — "Промышленное строительство", 1968, №9. 7. Мошанский Н.А. О механизме разрушения бетона при замораживании и морозостойкость бетонов в суровых условиях службы сооружений. — В сб.: Морозостойкость бетонов. Вып. 12. М., 1959. 8. Еремеев Г.Г. О морозостойкости бетонов. — "Бетон и железобетон", 1964, №2. 9. Беркман А.С., Мельникова И.Г. Структура и морозостойкость стеновых материалов. Л.—М., 1962. 10. Михневич Э.И. Крепление откосов осушительных систем фильтрующими материалами. Автореф. канд. дис. Минск, 1967.

И.В. Минаев

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДРЕНАЖА

Технико-экономический расчет параметров дренажа может быть произведен методом аппроксимации. Для этого формируется функция цели  $\bar{P}_0 = f(h, B, l, \dots)$  от нескольких переменных, которые представляют параметры сооружения ( $h, B, l, \dots$ ) и определяют величину ежегодных затрат или ка-