

Министерство путей сообщения СССР
Днепропетровский институт инженеров железнодорожного
транспорта

На правах рукописи

И.С. МИЦ

ИССЛЕДОВАНИЕ СУФФОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ГРУНТОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ДРЕНАЖЕЙ
ИЗ ПОРИСТОГО БЕТОНА

(481 – основания, фундаменты и подземные сооружения)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск – 1969

НТБ
ДНУЖТ

СССР МПС
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Инженер И.С.Миц

ИССЛЕДОВАНИЕ СУФФОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВ ПРИ
УСТРОЙСТВЕ ДРЕНАЖЕЙ ИЗ ПОРИСТОГО БЕТОНА

/Специальность № 48I - основания, фундаменты и
подземные сооружения/

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор технических наук,
профессор И.Н.Гольдштейн

Днепропетровск
1 9 6 9 г.

НТБ
ДНУЖТ

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации инженера И.С.Миц.

Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в публичной защите диссертации или прислать свой отзыв в письменном виде в 2-х экземплярах, заверенных печатью Вашего учреждения, по адресу: г.Днепропетровск, 10, Университетская, 2, ДИИТ.

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор М.Н.Гольдштейн.

Официальные оппоненты - доктор технических наук В.Р.Буддей, доктор геолого-минералогических наук, профессор И.А.Скаббаланович.

Ведущие предприятия - Ордена Трудового Красного Знамени управление "Кременчуггэсстрой" на строительстве Киевской ГЭС, Всесоюзный Ордена Ленина проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт "Гидропроект" имени С.Я.Жука /Украинское отделение/.

Автореферат разослан . . . *24.10.69* . . . 1969 г.
Защита диссертации состоится . . . *24.10.69* . . . 1969 г.
на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь,
доцент

Л.Н.Лебединец

НТБ
ДНУЖТ

Современные большие объемы гидротехнического строительства и возведение многих других сооружений в обводненных грунтах /железнодорожные и автодорожные насыпи, мелморяция в сельском хозяйстве, стабилизация оползневых склонов/, требуют весьма большого количества фильтровых материалов для устройства дренажей. Общеизвестно, что получение этих материалов связано с большими трудностями: в ряде районов нашей страны они вообще отсутствуют, а там где имеются соответствующие карьеры, фильтровый материал, прежде чем его применить, почти всегда требует соответствующей сортировки.

Работы по строительству дренажей из обычных сыпучих материалов мало механизированы, дорогостоящие и требуют применения ручного труда. Поэтому поиски новых фильтровых материалов для сооружения дренажей являются сейчас очень актуальной проблемой.

Перспективным решением данной проблемы может быть применение в качестве фильтров различных пористых материалов и в том числе пористого бетона.

Пористобетонные фильтры, при правильном их подборе, могут быть применены для отвода грунтовых вод в различных грунтах. Они позволяют почти полностью механизировать все трудоемкие процессы, значительно снизить стоимость дренажных работ и обеспечить их высокое качество.

Основой данных исследований послужили результаты работ, которые выполнялись в течение ряда лет автором по заказу Укр-гидрпроект имени С.Я.Жука и специализированного управления "Кременчуггэсстрой" в научно-исследовательской лаборатории оснований, фундаментов и подземных сооружений ДИИТ"а под руководством профессора М.Н.Гольдштейна. Опытные работы и натурные наблюдения проводились непосредственно на строительстве Кременчугского и Киевского гидроузлов, где были созданы ДИИТ"ом специальные геотехнические полевые станции.

На основании теоретических и экспериментальных исследований, получена методика подбора пористобетонных фильтров. По рекомендациям автора разработана технология изготовления

НТБ
ДНУЖТ

и монтажа сборного дренажа из пористобетонных фильтров применительно к земляной плотине Киевской ГЭС. До настоящего времени такого дренажа уложено более двух километров. Наблюдения за его работой в течение двух лет показывают надежность рекомендованной конструкции.

Экономический эффект, по сравнению с обычным дренажем из сыпучих фильтровых материалов составляет: пористобетонные фильтры с однослойной обсыпкой для увеличения водоприемного периметра - 19,3%; пористобетонные фильтры при непосредственном контакте с песком - 42,5%.

Диссертация объемом 150 страниц машинописного текста, иллюстрированная 62 рисунками, состоит из введения, шести глав, выводов и заключения; в приложениях приведены таблицы /20 страниц/, и составленные с участием автора временные технические условия на изготовление и инструкция на испытание пористобетонных фильтров, утвержденные "Укргидропроектом".

В I главе дан анализ современного состояния по применению и подбору пористых фильтров.

Пористыми называются фильтры, изготовленные из соответствующих заполнителей при смешивании их с определенным количеством склеивающего вещества. В качестве склеивающих применяются: различные клеи, лаки, битумы, цемент и жидкое стекло. Заполнителями служат различные фракции щебня, гравия, гальки, песка, керамзита, пемзы и других материалов.

Некоторым из перечисленных заполнителей и связующих присущ ряд недостатков: они малопрочные или быстро теряют прочность при фильтрации, размягчаются при повышенных температурах.

Одной из наиболее приемлемой разновидностью этих смесей является пористый бетон, состоящий из щебеночных, гравийных или песчаных заполнителей и цемента.

В нашей стране фильтры из пористого бетона, по рекомендации "Гидропроекта" им. С.Я.Жука /Щербина И.П., Воиных А.А., Малышев М.П., Варунов К.Ф., Бондаренко В.И., Кат-

НТБ
ДНУЖТ

кова С.А./, были применены в вертикальных скважинах на строительстве Цимлянского гидроузла. В тот же период обстоятельные исследования свойств пористого бетона выполнялись в институте ВНИИОМ Промжилстрой /Киев/ под руководством В.Р.Буддея. Им были рекомендованы пористые фильтры для оборудования скважин водоснабжения и водопонижения, а также впервые в СССР для осушения оснований мостовых угольных разработок.

Большие работы по исследованию этих фильтров выполнены во ВНИИГ^{те} имени Б.Е.Веденеева /В.И.Аравин, Г.Х.Праведный, Е.А.Дубочков/, в ЦНИИ МПС /Г.А.Низовкин/, в Институте санитарной техники Академии строительства и архитектуры УССР и в РИИТ^{те} /А.Ф.Быкандоров, Б.Ф.Маврицкий, В.С.Овдов/.

Разработкой и внедрением пористых фильтров на основе вяжущим клеем, битумами, бакелитовыми лаками, а также исследованием различных добавок к цементам, для придания долговечности этим фильтрам в агрессивных средах, занимались в нашей стране многие ученые /М.В.Зенков, С.Р.Медведев, П.Г.Любимый, П.Д.Глебов, П.С.Покровский, В.М.Гаврилко, Д.П.Дневич, М.Г.Левин, П.М.Ким, А.Ф.Печуров, Б.И.Минкевич, Н.У.Усманов и другие.

Пористый бетон в качестве фильтров широко применяется в Чехословакии, Венгрии, ГДР, ФРГ, Америке, Англии и других странах.

Проведенный автором анализ применения пористобетонных фильтров показал, что их широкое использование в производстве сдерживается до некоторой степени двумя причинами. Во-первых, в самом начале их применения были сомнения в отношении долговечности вследствие возможного разрушения при длительной фильтрации. Во-вторых, отсутствие обоснованной и проверенной на практике методики их подбора. Если первая из причин, судя по результатам длительной работы этих фильтров в производственных условиях, обстоятельно выяснена, то вторая и в настоящее время требует дальнейших исследований и уточнений.

НТБ
ДНУЖТ

Вопрос подбора пористых фильтров для контакта с различными грунтами, которые имеются в природе, весьма сложен. Наличие нескольких методик и рекомендаций, зачастую противоречивых, которые предложены различными авторами, свидетельствует о сложности данного вопроса.

Эти рекомендации в основном базируются на многочисленных теоретических и экспериментальных исследованиях, выполненных для подбора обычных сыпучих фильтров, советскими и зарубежными учеными /Н.Н.Павловский, С.В.Исаев, Н.М.Бочков, А.Н.Патрошев, А.А.Ничипорович, В.С.Истомина, Е.А.Замарин, А.П.Зегяда, И.П.Пузыревский, Ю.М.Шехтман, Г.М.Доминзе, Н.М.Герсаванов, И.Н.Гольдштейн, М.М.Гришин, Н.М.Маслов, К.Терцага, Д.Тейлор и другие/.

На основании работ этих авторов были даны рекомендации по подбору обычных фильтров, которые использованы и для подбора пористых. В настоящее время по подбору и изготовлению пористобетонных фильтров гидротехнических сооружений опубликовано два инструктивных источника: временные указания « Гидропроекта » и инструкция ВНИИГа. Указания « Гидропроекта » в основном рассматривают технологию изготовления и конструктивные решения различных типов дренажей с применением пористобетонных фильтров. В инструкции ВНИИГа даны рекомендации по подбору этих фильтров. Имеются еще отдельные рекомендации В.Р.Булдея, В.С.Оводова, М.Я.Елисеева и других.

В диссертации показано, что некоторые положения и рекомендации требуют дополнительных уточнений. Неоправдано требование об ограничении применения заполнителей пористых бетонов с коэффициентом неоднородности больше трех. Опытами доказано, что в качестве заполнителей можно использовать материал с практически любым коэффициентом неоднородности.

Несколько неопределенными являются существующие рекомендации в отношении подбора заполнителей по условному размеру фракции.

НТБ
ДНУЖТ

Во II главе изложены основные свойства пористобетонных фильтров, приведены методики их определений и конструкции использованных для этой цели приборов.

Показано, что пористый бетон является многофазной системой и обладает рядом свойств, которые зависят от соответствующих характеристик составляющих и пористой структуры.

В пористобетонных фильтрах особое значение приобретает размер сквозных пор, водопроницаемость, прочность и объемный вес.

Исследования выполнены для различных составов пористых бетонов, которые наиболее часто встречаются при их применении. Для этой цели автором использовано максимальное количество гранулометрических составов заполнителей, которые выпускаются дробильными заводами Украины /Власовский, Запорожский, Игнатополюский и другие/. Исследованы также свойства пористых бетонов, в которых в качестве заполнителей применялся гравий с побережья Черного моря.

В результате этих исследований выяснено, что для оценки основных свойств пористобетонных фильтров необходимо использовать следующие показатели:

1. Гранулометрический состав заполнителя.

Для точной оценки поровой структуры, от которой зависят все основные свойства, необходимо использовать, кроме средней крупности / d_{50} /, отношение d_{15} к d_{85} , а не d_{10} к d_{90} . Различное содержание фракции заполнителя с размерами частиц $d > d_{10}$ и $d < d_{10}$, которые не могут быть учтены коэффициентом неоднородности / $\eta = \frac{d_{90}}{d_{10}}$ /, значительно влияют на свойства пористого бетона.

2. Водоцементное отношение - $\frac{B}{C}$ /.

Опытами установлено, что это отношение, даже при незначительных изменениях, существенно сказывается на свойствах пористого бетона.

Специально выполненные опыты позволили установить точное водоцементное отношение для каждого гранулометрического состава заполнителя. Это отношение получено в виде графической зависимости, позволяющей по средней крупности / d_{50} / и показателю неоднородности / $\eta = \frac{d_{90}}{d_{10}}$ / , отдельно

для щебня и гравия , задавать точное значение V/Π .

3. Минимальная толщина пористобетонных фильтров.

Известно, что чем более крупный заполнитель, тем эта толщина должна быть большей. В результате проведенных исследований установлено следующее:

$$T \geq 6d_m$$

где: d_m – размер частиц, меньше которых в данном заполнителе содержится 85%,

T – толщина фильтра в мм.

При этой минимальной толщине в определенном V/Π всегда образуется постоянный для данной крупности заполнителя размер пор, определяющий все основные свойства пористобетонных фильтров.

Исследован еще один фактор: влияние времени вибрирования на образование пористой структуры. При рекомендованных соотношениях составляющих $I:6$ по весу и соответствующем значении V/Π , требуемое уплотнение бетонной смеси достигается в среднем за одну минуту. При этом необходимо иметь вибростолбики с большой частотой и малой амплитудой колебаний.

С учетом указанных факторов, основные свойства пористых бетонов /для гранулометрических составов заполнителей в пределах фракции от 0,15 + 3,0мм до 5 + 80мм/ характеризуются крайними значениями, представленными в таблице I.

Таблица I

Наименование свойств	Щебень		Гравий	
	от	до	от	до
Объемный вес, т/м^3	1,66	2,17	1,89	2,2
Открытая пористость, %	II	32	7,9	23
Прочность, кг/см^2	2I	120	70	145
Водопроницаемость м/сут. /при $\Sigma = I/$	8,6	5000	7	4500

Для определения водопроницаемости пористых бетонов, которая в дальнейшем использована автором в качестве критерия

при подборе нижнего предела гранулометрического состава заполнителя, получены следующие эмпирические формулы:

$$\text{щебенистый заполнитель} \quad K = \frac{d_{100}}{0,00391 + 0,000984 \eta} \quad /1/$$

$$\text{гравийный заполнитель} \quad K = \frac{d_{100}}{0,00472 + 0,00181 \eta} \quad /2/$$

В III главе изложены теоретические и экспериментальные исследования суффозии несвязанных грунтов с различными пористыми бетонами.

На основании полученных данных предложена методика подбора пористобетонных фильтров и приведен конкретный пример подбора для горизонтального дренажа земляной плотины Киевской ГЭС.

При постановке задачи рассмотрены все факторы, которые имеют место и оказывают влияние на суффозию. Установлено, что суффозия несвязанного грунта на контакте с пористобетонными фильтрами зависит от максимальных размеров пор бетона, размеров частиц контактирующего грунта, а также от скорости фильтрации воды, движущейся сквозь этот контакт.

Пористый бетон характеризуется, прежде всего, определенными размерами пор. Специально сделанные разрезы пористобетонных фильтров и контактирующего с ними грунта показали, что суффозия зависит от максимальных размеров сквозных пор, которые названы суффозионными ходами.

Контактирующий грунт характеризуется размером частиц, удельным весом и сложением /пористостью/.

Вода, которая обуславливает суффозионные явления на контакте с пористобетонными фильтрами, характеризуется определенной скоростью, вязкостью, плотностью и направлением движения по отношению к силе тяжести, переносимых ею частиц.

Исследованиями установлено, что контактная суффозия зависит от девяти переменных факторов.

Решение поставленной задачи выполнено на основании качественно-теоретического анализа, численные значения которой в окончательном виде получены экспериментально.

НТБ
ДНУЖТ

Возможность такого решения дает теория подобия и размерностей, которая применялась для подобных задач в гидродинамике, аэродинамике и, в частности, в грунтах /С.В.Иванов, Г.М.Ломиве, А.П.Зегеда/.

Эта теория применена автором для решения задачи о контактной суффозии несвязанного грунта с пористобетонными фильтрами.

В качестве определяющего параметра принято гидродинамическое давление в контактирующем грунте, которое вызывает суффозионные явления.

В общем виде функциональную зависимость для объемной силы сопротивления, которую могут испытывать сыпучие материалы на контакте с пористыми средами при движении любой жидкости, можно представить в следующем виде:

$$J_{rg} = f(V, \rho, \mu, g, R_r, \gamma_{zg}, d_{c.z}, d_{c.x}, \Theta) \quad /3/$$

где: V , ρ , μ - скорость, плотность и вязкость жидкости, g - ускорение силы тяжести, γ_{zg} - удельный вес контактирующих частиц, $d_{c.z}$, $d_{c.x}$ - диаметр суффозионных частиц и суффозионных ходов, Θ - направление фильтрации, R_r - гидравлический радиус, определяющий границы движения жидкости

$$R_r = \frac{\epsilon V_c}{A_c} \quad /4/$$

где: ϵ - коэффициент пористости, V_c - объем скелета в единице объема грунта, A_c - смоченная поверхность, равная суммарной площади поверхности зерен скелета в единице объема.

Принимая за основные размерные величины V , R_r и ρ , в соответствии с П-теоремой, зависимость /3/ может быть представлена следующими безразмерными величинами:

$$\frac{J_{rg} R_r}{V^2 \rho} = f\left(\frac{V R_r \rho}{\mu}, \frac{V^2}{g R_r}, \frac{d_{c.z}}{d_{c.x}}, \Theta\right) \quad /5/$$

Если принять во внимание, что в дренажах фильтрующей жидкостью является вода, то зависимость /5/ может быть упрощена.

НТ
ДНУЖТ

II

Для этого сделаем следующие преобразования:

где: γ_6 - объемный вес воды, $\frac{\gamma_6}{g} = \frac{\gamma_6}{g}$ - ускорение силы тяжести.
 $\frac{\mu}{\rho}$ где: γ - кинематический коэффициент вязкости. $J_{\gamma} = \gamma_6 J$
 где: J - гидравлический градиент.

Вместо удельного веса можно взять объемный вес грунта, взвешенного водой / γ'_{rp} /. Для кварца с удельным весом $2,65 \text{ г/см}^3$ $\gamma'_{rp} = 1,0 = \gamma_6$. Подставляя приведенные значения в зависимость /5/ и учитывая, что любое критериальное уравнение представляет собой степенную зависимость, получим:

$$J = \frac{v^2}{g R_r} f \left(Re, \frac{d_{c.z}}{d_{c.x}}, \Theta \right) \quad /6/$$

где: R_r - число Рейнольдса.

Следовательно, потери напора при контактной суффозии несвязного грунта на контакте с пористым бетоном, являются функцией числа Рейнольдса и двух геометрических параметров.

Зависимость потерь напора от числа Рейнольдса характеризует режим движения воды /ламинарный, переходной, турбулентный/.

В дренажах гидротехнических сооружений, где фильтрами защищаются грунты с малыми размерами частиц, существует ламинарный режим движения воды /С.В.Избаи, Г.М.Ломизе/.

В этом случае функция /6/ представляет собой равнобокую гиперболу и может быть выражена следующей зависимостью:

$$J = \frac{A}{R_r}$$

где:

$$A = \frac{v^2}{g R_r} f \left(\frac{d_{c.z}}{d_{c.x}}, \Theta \right) \quad /7/$$

После постановки и сокращений окончательно получим:

$$J = \frac{v}{K_n} f \left(\frac{d_{c.z}}{d_{c.x}}, \Theta \right) \quad /8/$$

где: $K_n = \frac{R_r g}{v}$ - коэффициент проницаемости.

Гидравлический градиент, определяющий состояние сыпучего грунта на контакте с пористым бетоном в пределах ламинарного режима, прямо пропорционален скорости движения воды, обратно пропорционален коэффициенту проницаемости / K_n /

и функционально зависит от двух геометрических параметров.

За критерий устойчивости грунта на контакте с пористым бетоном приняты первые подвижки частиц. При этом обычно наступает равенство коэффициентов фильтрации грунта и непосредственно прилегающего к нему слоя пористого бетона. Этому состоянию соответствует определенный критический градиент.

Следовательно, критический градиент, определяющий устойчивость несвязного грунта на контакте с пористобетонными фильтрами, может быть выражен следующим критерияльным уравнением:

$$J_k = \frac{v}{K_n} \left\{ \left(\frac{d_{c.1}}{d_{c.2}}, \infty \right) \right. \quad /9/$$

Численные значения этого уравнения получены экспериментально при фильтрации снизу вверх и сверху вниз. Прежде всего была получена зависимость, позволяющая по исходному гравулометрическому составу определять диаметры суффозионных ходов $d_{c.2}$ в пористых бетонах. Использовался метод своеобразной динамической "фильтрации" заранее определенных диаметров частиц окатанного песка, при прохождении их сквозь поры бетона. Подобный метод применялся М.М.Протоdjаконовым и В.С.Истоминой в сыпучих грунтах. Однако отсутствие в этом случае сцементированной постоянной структуры /пор/ не позволило получить достоверных данных.

К пористому бетону можно приложить необходимое динамическое усилие и "профильтровать" тот диаметр частиц, которые имеют максимальные сквозные поры в бетоне. Для этой цели использовался окатанный речной песок, предварительно разделенный на очень узкие фракции. В результате большого количества опытов построены графики зависимости диаметров суффозионных ходов от средней крупности d_{50} и неоднородности γ для щебеночных и гравийных заполнителей. Они могут быть также представлены следующими экспериментальными формулами:

НТБ
ДНУЖТ

$$\text{для щебня: } d_{c.z} = \frac{d_{so}}{7,052 + 0,545 \dot{\eta}} \quad /IO/$$

$$\text{для гравия: } d_{c.z} = \frac{d_{so}}{7,0 + 0,658 \dot{\eta}} \quad /II/$$

За счет цемента диаметры пор в бетоне по сравнению с диаметром пор в уплотненном заполнителе уменьшаются на 23 + 27% /данные автора и В.Р.Булдей/. Приведенные зависимости /IO и II/ могут быть использованы для приближенного определения диаметров суффозионных ходов в сыпучих грунтах. Надо отметить, что подсчитанные по этим формулам размеры пор с увеличением на 25% хорошо согласуются с данными ВНИИГ"а для сыпучих грунтов.

Экспериментальное значение критического градиента первоначально получено для однородных грунтов, с последующим использованием полученной зависимости для неоднородных грунтов. Для этой цели был использован специально изготовленный суффозионный прибор, позволяющий испытывать образцы необходимых размеров $T = 6 d_{so}$ / в контакте с грунтами, при различном направлении движения воды. Прибор имел систему пьезометров, с помощью которых можно было мерить напоры или их изменение как в контактующих материалах, так и непосредственно на самом контакте.

Опыты проводились путем увеличения общего напора до величины, при котором начиналась подвижка частиц на контакте. Критический градиент, соответствующий первым подвижкам песка, фиксировался с помощью построения специальных вспомогательных графиков, на оси абсцисс которых отложен общий напор, а на оси ординат разность уровней в последующих пьезометрах /рис. I/. Как видно из графиков, начало разрушений определяется довольно точно по изменению уровней в пьезометрах.

Проведение опытов с пористыми образцами, которым предварительно определялся диаметр суффозионного хода $d_{c.z}$ /,

НТБ
ДНУЖТ

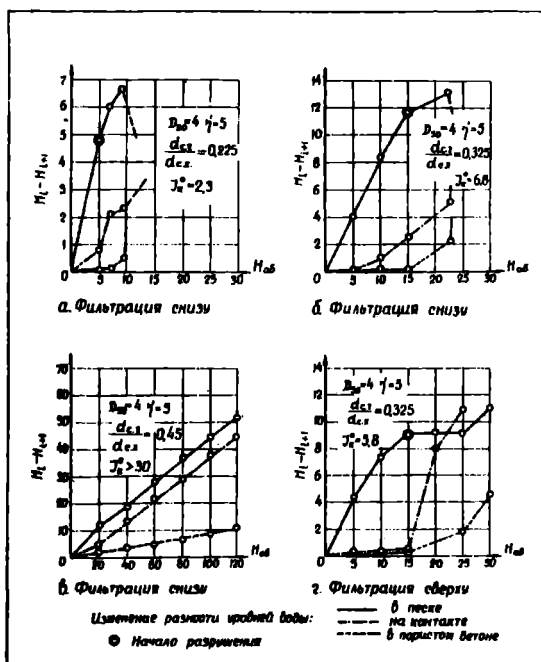


Рис.1. Вспомогательные графики для определения критического градиента.

при контакте различных по диаметру /однородных/ частиц песка, позволили получить зависимость, которая представлена на рис.2. Это параболическая кривая, которая при $\frac{d_{сз}}{d_{сх}} = 0,5$ практически уходит в бесконечность. На том же графике представлена аналогичная зависимость при фильтрации сверху вниз. Она расположена ниже на величину градиента равного единице, который при фильтрации снизу вверх затрачивается на взвешивание частиц.

Из полученной зависимости видно, что устойчивость несвязного грунта на контакте обеспечивается практически при любых градиентах в том случае, когда имеются частицы

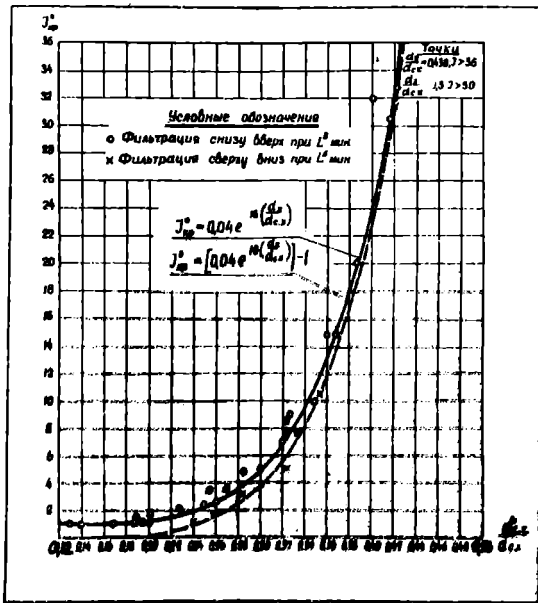


Рис.2. Зависимость критического градиента от $\frac{d_{с.з}}{d_{с.к}}$

в два раза меньше размеров суффозионного хода. Это подтверждается данными ВНИИГ^а. Начало кривой в точке $\frac{d_{с.з}}{d_{с.к}} = 0.2$, при фильтрации сверху вниз, свидетельствует о том, что однородные частички песка в воздушно-сухом состоянии при $\frac{d_{с.з}}{d_{с.к}} < 0.2$ способны просыпаться в пористый бетон под действием собственного веса.

Эти кривые могут быть представлены следующими эмпирическими зависимостями /для однородных грунтов J_k^* -/: при фильтрации снизу вверх

$$J_k^* = 0.04 \exp 16 \left/ \frac{d_{с.з}}{d_{с.к}} \right/ \quad /12/$$

при фильтрации сверху вниз

$$J_k^* = \left[0.04 \exp 16 \left/ \frac{d_{с.з}}{d_{с.к}} \right/ \right] - 1 \quad /13/$$

НТБ
ДНУЖТ

Для выяснения процессов происходящих на контакте пористого бетона с неоднородными грунтами были поставлены специальные опыты, которые позволили выяснить следующее:

1. Частицы неоднородного грунта на контакте с пористым бетоном вымываются последовательно в зависимости от их диаметра, диаметра суффозионного хода и соответствующего им критического градиента. Частицы, которые не могут быть вынесены /по геометрическим или гидродинамическим условиям/, образуют на контакте обратный фильтр.

2. Этот фильтр, после выноса соответствующих частиц, характеризуется своим грансоставом и имеет определенный диаметр суффозионного хода. В этом случае, как и на контакте с пористым бетоном имеются следующие условия: если половинный диаметр суффозионного хода этого обратного фильтра, меньше диаметра самих мелких частиц, содержащихся в грунте за его пределами, то при данных гидродинамических условиях, которые уже не в состоянии нарушить этот обратный фильтр, дальнейшей суффозии грунта не будет.

Как установлено опытами, вымыв частиц неоднородного грунта, которые по своим размерам не могут образовать обратный фильтр на контакте с пористым бетоном, происходит при гидродинамических условиях равных условиям в однородном грунте. Равенство этих условий состоит в том, что скорости фильтрации для выноса одинаковых по диаметру частиц, при одном и том же $d_{с.х}$, должны быть одинаковыми.

где J_k и J_k^* — критические градиенты в однородном и неоднородном грунте;
 K_ϕ и K_ϕ^* — коэффициенты фильтрации в однородном и неоднородном грунте.

Следовательно, для неоднородного грунта могут быть записаны следующие равенства:

$$\frac{J_k^* K_\phi^*}{K_\phi} = 0,04 \exp 16 / \frac{d_{с.х}}{d_{с.г}} ; \quad \frac{J_k^* K_\phi^*}{K_\phi} = [0,04 \exp 16 / \frac{d_{с.х}}{d_{с.г}}] - 1 / 15 /$$

НТБ
ДНУЖТ

Таким образом, задаваясь диаметром частиц, до которых может быть допущен вынос из неоднородного грунта, зависимость /15/ позволяет определять диаметры суффозионного хода пористого бетона и по формулам /10 или 11/ находить параметры $d_{с.н.}$ и η /заполнителей/.

Градиенты в неоднородном грунте / J_k /, которые приняты за критические, для конкретных сооружений определяются известными в практике методами /расчетами, ЭРДА/. Коэффициенты фильтрации / K_f / также определяются лабораторными или полевыми методами .

Коэффициенты фильтрации / K_f / однородного грунта, аналогичного той фракции, которая вымывается из неоднородного грунта при данном градиенте, могут быть определены по зависимости Хазена:

$$K_f = 100 d_{10}^3 \quad /16/$$

где: d_{10} - эффективный диаметр частиц в см ,

Теперь необходимо только выяснить до какого диаметра можно допустить вынос частиц из неоднородного грунта, т.е. что принять за диаметр суффозионных частиц / $d_{с.н.}$ /? Как уже указывалось выше, критерием в этом случае является равенство коэффициентов фильтрации контактирующего неоднородного грунта и непосредственно прилегающего к нему верхнего слоя пористого бетона. Если это равенство будет нарушено, т.е. коэффициент фильтрации пористого бетона станет меньше коэффициента фильтрации грунта /коэффициента/, в этом случае пористый бетон перестанет играть роль фильтра.

С учетом изложенного, на основании серии опытов при контакте неоднородных песков с различными пористыми бетонами получена зависимость, представленная на рис. 3. Она может быть выражена также следующей эмпирической зависимостью :

$$d_{с.н.}(\eta) = 55,5 \eta^{-0,17} \quad /17/$$

Приведенная зависимость позволяет по показателю неоднородности грунта / η / определять допустимый вынос частиц в % и по исходному графику гранулометрического состава

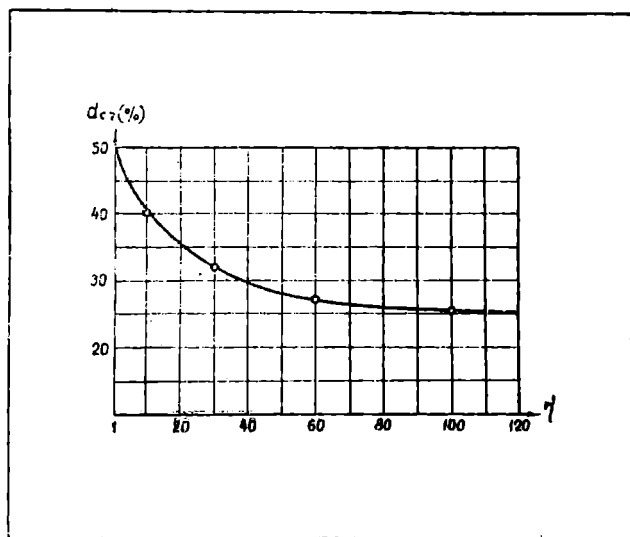


Рис. 3 Зависимость $d_{с.з.}$ от η .

этого грунта определять диаметр суффозионных частиц $/d_{с.з.}/$.

Если контактирующий грунт содержит мелкие частицы, способные перемещаться в нем самом /суффозионный/, то рекомендуется определить диаметр суффозионного хода в обратном фильтре, который образовался на контакте с пористым бетоном после выноса всех частиц подсчитанных по зависимости /15/.

По полученному диаметру суффозионного хода грунта определяется диаметр частиц, которые при заданных гидродинамических условиях могут быть внесены в пористобетонный фильтр.

Эти частицы способны колыматировать пористый бетон если их окажется больше 3%. В этом случае $/d_{с.з.}/$ необходимо принять меньше, чем по зависимости /15/ на 5 - 10% /по графику грансостава исходного грунта/ и вторично произвести расчет.

НТБ
ДНУЖТ

Так как все приведенные зависимости получены при критических значениях, то после подсчета $d_{с.з.}$ последний необходимо умножить на коэффициент запаса /рекомендуется 0,8/ и окончательно определить по зависимости /IО или II/ параметры заполнителя.

Все изложенное относится к подбору верхнего /самого крупного/ предела заполнителя. Параметры $d_{с.з.}$ и n_2 /нижнего предела определяются по зависимости I или 2. При этом соблюдается условие:

$$K_{\phi}^{\delta} \geq 1/4 \div 5/ K_{\phi}^{\delta} \quad /I8/$$

где: K_{ϕ}^{δ} - коэффициент фильтрации пористого бетона,

K_{ϕ}^{δ} - коэффициент фильтрации контактирующего грунта.

В IV главе рассмотрены вопросы технологии изготовления пористобетонных фильтров, методы контроля их качества, монтажа готовых изделий и ряд конструктивных вопросов /типы стыков, их изоляции/.

Весь технологический процесс изложен на конкретном примере применения пористобетонных фильтров в горизонтальном дренаже земляной плотины Киевской ГЭС.

Практическое выполнение этих работ производилось управлением "Кременчуггэсострой" с участием Укргидропроекта, ДНПТ"а, ВНИИГ"а и комбината "Днепроэнергостройиндустрия", где создан специальный завод и освоен серийный выпуск пористых дренажных труб.

Первоначально разработка технологии и ее проверка^о производилось на специально созданных двух опытных участках. Первый на Кременчугской ГЭС, где отработывались вопросы технологии изготовления фильтров, контроль их качества и конструкция стыков. Второй на Киевской ГЭС, где была выполнена проверка выданных рекомендаций по подбору этих фильтров и отработана технология монтажа. Окончательно вся технология уточнялась в первый период укладки пористого дренажа в земляную плотину Киевской ГЭС /1967 год/.

В итоге установлено:

I. Для изготовления пористых труб $D_{\phi} = 400 - 800 \text{ мм}$ /

Н.Б.
ДНУЖТ

рекомендуется использовать сборно-разборную металлическую опалубку, состоящую из наружной разъемной оболочки, внутреннего сердечника и поддона. При нормальных условиях для твердения бетонной смеси, внутренний сердечник можно извлекать через 25 минут после окончания бетонирования. Схватывание бетона до необходимой прочности, позволяющей передвигать трубы в пределах полигона, происходит на поддонах. Поэтому поддонов следует иметь в 5 – 6 раз больше, чем наружных оболочек, что обеспечит оборачиваемость опалубки.

Время вибрирования пористых труб в опалубке на стандартных вибростолах должно быть не менее одной минуты.

2. Стыки труб лучше всего выполнять вчетверть. Для получения большой прочности стыки в процессе бетонирования необходимо заливать жидким цементным раствором. При такой технологии стыки получаются монолитными.

3. Было проверено несколько вариантов изоляции стыков: с обсыпкой щебнем, с полукольцами и прокладкой войлока, с битумными матами, обмазкой цементным раствором, а также различные их сочетания. При наличии фильтровой обсыпки изоляцию можно выполнять с помощью цементной обмазки; при непосредственном контакте труб с мелкими песками – с помощью горячей наклейки битумных матов.

4. Укладку фильтров лучше всего производить с помощью специального захвата, который при натяжении троса прижимается к трубе и позволяет удобно стыковать и центрировать трубы. Прочность пористых труб позволяет транспортировать их на любые расстояния. В результате этих работ, ДИИТ'ом совместно с Ужгидропроектom составлены ВТУ на изготовление и инструкция по испытанию пористых труб, которые переданы исполнителям работ.

В У главе приведены данные натурных наблюдений за работой уложенного пористого дренажа.

Укладка этого типа дренажа производится с июля 1967 года. Прошедший период уже сейчас позволяет сделать некоторые выводы о его работе. Прежде всего необходимо указать, что пористый бетон в горизонтальном дренаже гидроэнергети-

ческих сооружений в нашей стране применен впервые.

В связи с этим ДИИТ"ом совместно с Укргидропроектом составлена программа длительных наблюдений за работой горизонтального дренажа в теле плотины Киевской ГЭС, в результате которой должны быть выяснены вопросы долговечности этих фильтров. С этой целью в трех местах /ПК 156+75; 184+00 и 186+00/ участка пористого дренажа, уложены по две опытные трубы. Укладка их выполнена так, что они могут быть извлечены через определенное время /3, 6 и 9 лет/ без нарушения работы основного дренажа.

Испытание этих дрен после длительной работы в натуральных условиях позволит выяснить изменение их фильтрационных и прочностных свойств, а также надежность конструкции стыков. В настоящее время наблюдения проводятся с помощью специально установленных створов пьезометров, анализа воды и визуального осмотра.

Необходимо указать, что переменные уровни воды в водохранилище и дренажном канале, не позволяют судить о работе дренажа по изменению депрессионной кривой. Анализ воды показывает, что выноса частиц нет. Только лишь в первые сутки работы дренажа происходит промывка /0,02 гр/л/ частиц и то, по видимому, тех, которые попадают в трубы при монтаже.

Содержание окислов железа /9,53 мг/л/ обусловило только некоторое покрытие в виде покраснений колодцев и оголовков водовыпусков. Пористые дренны пока не имеют никаких признаков кольматации или разрушений. Этот вывод сделан на основании вскрытия и визуального осмотра одной трубы, которая проработала в дренаже около одного года.

В UI главе рассмотрены вопросы технико-экономической эффективности, применительно к условиям укладки пористого дренажа в земляную плотину Киевской ГЭС. До применения пористого бетона в плотину укладывался трехслойный дренаж /первый слой намывной песок/ с железобетонным дырчатыми трубами. Нами был рекомендован пористый дренаж в двух вариантах: первый - на участке плотины с относительно большим притоком воды - пористые трубы с однослойной обсыпкой; вто-

рой - на участке с малым притоком - пористые трубы без фильтровой обсыпки.

В настоящее время применяется первый вариант. Технико-экономический расчет дан для того и другого. Расчет стоимости выполнен на один погонный метр на основании единичных расценок /ЕРЕР/ для условий строительства Киевской ГЭС, которые утверждены и действуют в настоящее время /1968 г/.

Экономический эффект составляет: пористые трубы с однослойной обсыпкой - 19,3%; без обсыпки - 42,5%. В заключение укажем, что пористые трубы совершенно не требуют применения металла, тогда как обычные /дырчатые/ 55 - 65 кг на один погонный метр.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. В качестве заполнителей пористых бетонов может быть использован щебень, гравий и другие пригодные для этой цели материалы любой неоднородности. При этом за показатель неоднородности рекомендуется брать отношение $\eta = \frac{d_{25}}{d_5}$.

2. Для каждого в отдельности грансостава заполнителя образование оптимальной пористой структуры в большой степени зависит от водоцементного отношения, которое можно определить по рекомендуемому графику.

3. Прочность пористого бетона зависит как от крупности, так и от неоднородности заполнителей. Из щебеночных заполнителей с угловатыми частицами, прочность пористого бетона в среднем равна $G = 70 \text{ кг/см}^2$, она несколько меньше, чем из окатанных /гравий/ заполнителей.

4. Водопроницаемость пористых бетонов зависит от параметров заполнителей d_{25} и η / и формы частиц. Во всех случаях она является достаточной для применения пористых бетонов в качестве фильтров.

5. Как показали теоретические и экспериментальные исследования, пористый бетон может быть применен как фильтр на контакте с различными несвязанными грунтами, в том числе и с суффозионными.

6. Принятая технология изготовления и монтажа пористо-

НЕ
ДНУЖТ

бетонных фильтров показала, что эта конструкция дренажа позволяет почти полностью механизировать все технологические процессы, улучшить качество и снизить стоимость дренажных сооружений.

7. Наблюдения за работой дренажа из пористобетонных фильтров на Киевской ГЭС в течение двух лет подтверждают правильность выданных рекомендаций по подбору пористого бетона. Горизонтальный дренаж в плотине работает хорошо.

Пористые фильтры с успехом можно применять во многих дренажных системах различных сооружений и в первую очередь:

- в гидротехническом строительстве; в ленточных фильтрах под бетонные крепления откосов земляных плотин и дамб, взамен обычных фильтров и железобетонных прокладок;

- в мелиорации, где предстоит построить очень много дренажных систем;

- в водоснабжении и водопонижении;

- в водозаборах и водоочистных сооружениях;

- в дренажах для стабилизации оползневых склонов.

Применение пористобетонных фильтров позволяет решить еще одну очень важную проблему дренирования. Имеется в виду возможность замены вышедших из строя фильтров по причине закупорки их различными окислами и солями. Отложение этих окислов происходит в фильтрах из любых материалов. В ряде сооружений /железнодорожные выемки/ строятся сложные дренажные системы на больших глубинах. Для таких случаев рекомендуется постройка галерей с несущим каркасом и заполнением стенок небольшими по площади пористыми блоками, которые можно было бы после закупорки пор заменить на новые, без производства очень сложных земляных работ в естественных условиях.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Миц И.С. - Свойства пористого бетона как материала для дренажей. Сб. "Вопросы геотехники" № 13, 1968.
2. Миц И.С. - Устройство дренажа земляной плотины из пористого бетона. Экспресс-информация № 150, Строительство гидроэлектростанций, 1964.
3. Миц И.С. - К вопросу о плотности песка при подводном намыве. Сб. "Вопросы геотехники" № 3, 1959.
4. Миц И.С. - Геотехнические исследования на строительстве Киевской ГЭС и ГАЭС. Тезисы докладов ХУП научно-технической конференции ДНУТ^а, 1967.
5. Миц И.С. - Суффозионность несвязных грунтов при контакте с пористыми фильтрами. Сб. "Вопросы геотехники" № 15, в соавторстве с М.Н.Гольдштейном /в печати/.

Заказ № 71

БФ 19848

Тираж 200

Электрографическая офсетно-печатная
лаборатория СОПС^а УССР АН УССР
Киев, ул. Январского восстания, 24