

М., 1957, т. 19. 3. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. — М., 1965. 4. Boulton N.S. Analysis of data from nonequilibrium pumping tests allowing for delayed yield from storage. — Proc. Inst. Civil. Eng, 26, 1963. 6. Мурашко А.И., Новиков А.А., Щербаков Г.А. Прогноз снижения УГВ в безнапорных потоках с учетом изменения коэффициента водоотдачи в зоне капиллярной каймы. — Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. Ровно, 1980. 7. Живова Б.М. Некоторые результаты опытного определения водоотдачи грунта. — Науч. записки МИИВХ. М., 1957, т. 19. 8. Носова О.Н. Расчет водоотдачи песчаных грунтов. — М. — Л., 1962. 9. Шестаков В.М., Стрельцова Т.Д. Формирование безнапорного фильтрационного потока при откачке из совершенной скважины. — Мат-лы третьего семинара по применению геофиз. и мат. методов при гидрогеолог. и инж. геолог. изысканиях. М., 1970.

УДК 624.131.37

В.С. ИСТОМИНА, докт. техн. наук,
ст. науч. сотр. (ВНИИВODГЕО),
Г.В. МИШУРОВА, канд. техн. наук,
ст. науч. сотр. (БелНИИМиВХ)

О РАСЧЕТЕ ПРОЧНОСТИ СУПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПРИ КОНТАКТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

При проектировании плотин одним из важных вопросов является правильный подбор состава защитных фильтров, организующих и отводящих фильтрационные воды в теле плотины. Наиболее тяжелыми условиями работы системы грунт — фильтр (с точки зрения обеспечения фильтрационной прочности) является контактная фильтрация, или контактный размыв. На устойчивость в условиях контактного размыва необходимо рассчитывать фильтры наклонных, пластовых и ленточных дренажей плотин и дамб.

Имеющиеся в литературе данные по определению разрушающих градиентов контактного размыва глинистых грунтов [1, 2] относятся в основном к суглинкам и глинам. Супесчаные же грунты авторы этих работ предлагали в виду недостаточности исследований рассматривать без учета их связности, т.е. как грунты песчаные.

В настоящей работе сделана попытка оценить фильтрационную прочность супесей в условиях контактной фильтрации с учетом их особенностей. За основу приняты зависимости для песчаных грунтов, полученные в предположении, что основной причиной разрушения грунта продольным фильтрационным потоком является трение потока [3]. Расчетные схемы представлены на рис. 1. В них рассматривается движение фильтрационного потока по осредненному порам-каналам фильтра диаметром D_{60}^0 . При некотором значении градиента потока происходит захват частицы грунта размером d_p и перемещение их по порам фильтра. В результате рассмотрения условий равновесия частицы грунта в поровом канале были получены следующие зависимости:

для схемы I (рис. 1) при $D_{60}^0 \geq 2 d_p$:

$$l_{\text{к.р. разр}} = \frac{2,67d_p \operatorname{tg} \varphi (\gamma_{\text{ск}} - \gamma_{\text{в}})}{(D_{60}^0 - d_p) \gamma_{\text{в}}}; \quad (1)$$

для схемы II (рис. 1) при $D_{60}^0 < 2d_p$

$$l_{\text{к.р. разр}} = \frac{5,33d_p^2 \operatorname{tg} \varphi (\gamma_{\text{ск}} - \gamma_{\text{в}})}{[2d_p^2 - 2d_p D_{60}^0 + (D_{60}^0)^2] \gamma_{\text{в}}}. \quad (2)$$

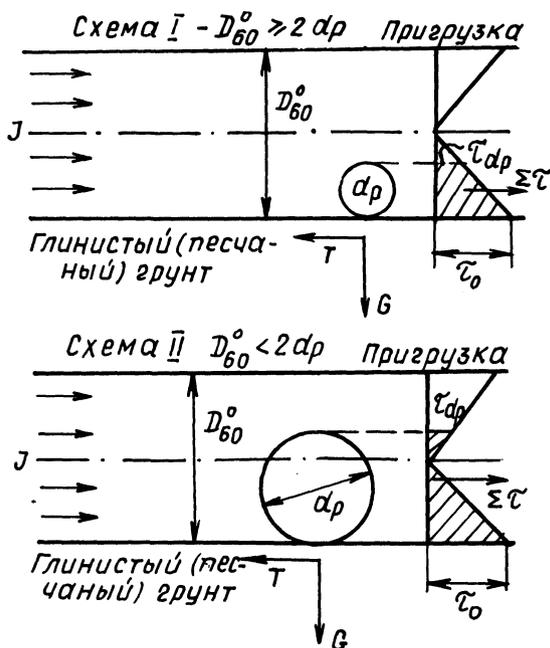


Рис. 1. Схемы расчета контактного размыва песчаного или глинистого грунта потоком с градиентом i :

G — собственный вес частицы песчаного или агрегата глинистого грунта; T — сила трения, удерживающая частицу от перемещения; τ_{dp} и τ_0 — силы трения потока, стремящиеся оторвать частицу.

В этих формулах: d_p — расчетный диаметр мелкозернистого грунта, $d_p = d_{10}$; $\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент трения мелкозернистого грунта при объемной массе скелета грунта $\gamma_{\text{ск}}$; D_{60}^0 — расчетный диаметр пор фильтра; $\gamma_{\text{в}}$ — плотность воды.

Предложенные формулы (1) и (2), с нашей точки зрения, могут быть использованы при рассмотрении прочности пригруженных супесчаных грунтов при фильтрации вдоль контакта. При этом необходимо учесть особенности

разрушения глинистых грунтов. Известно, что глины и суглинки как нарушенной, так и ненарушенной структуры состоят из совокупности различных по крупности агрегатов, промежутки между которыми в зависимости от состояния грунта могут быть заполнены воздухом, связанной или свободной водой [4]. Как показали исследования В.В.Буренковой [5], при рассмотрении фильтрационных деформаций глинистых грунтов также следует исходить не из их основных зерновых составов, а из агрегатных составов, крупность которых зависит от вида грунта и его состояния.

Расчеты, проведенные по зависимости (1) и (2) для супесчаных грунтов, показали, что даже при учете агрегируемости супесей и введении в формулы вместо d_{10} величины $d_{90 \text{ агр}}$ расчетные значения разрушающих градиентов контактного размыва получаются значительно меньше соответствующих опытных величин.

На основании исследований структуры контакта супесей и фильтров установлено, что при замачивании контакта происходит дополнительное проникание фильтра в грунт, за счет чего диаметр его пор на контакте уменьшается [6]. Способ определения диаметра пор фильтра на контакте $(D_{60}^0)_к$ подробно описан в работе [6]. Расчетный диаметр пор внутри фильтра D_{60}^0 можно определить по зависимости [7]

$$D_{60}^0 = D_{60} a_n, \quad (3)$$

где D_{60}^0 — диаметр частиц фильтра, менее которых в его зерновом составе находится 60% по массе; a_n — коэффициент, зависящий от пористости фильтра: при $n \leq 0,37$ $a_n = 0,155$, при увеличении пористости от 0,37 до 0,48 a_n меняется соответственно от 0,155 до 0,415.

Определение расчетного диаметра агрегата супеси производится следующим образом [7]:

а) по значению среднего диаметра частиц грунта d_{50} находится величина среднего агрегата d_{50a} (рис. 2);

б) при известных значениях границы текучести W_T и d_{50a} по графику рис. 3 определяется величина d_{10a} ;

в) обеспеченность расчетного диаметра агрегата супеси рассчитывается по формуле

$$i = 90 - 5W_{п}, \quad (4)$$

где $W_{п}$ — число пластичности супесчаного грунта (%);

г) для полученной обеспеченности i по соответствующей кривой графика рис. 3 находят значение расчетного диаметра агрегата.

Считаем необходимым в формулы (1) и (2) вместо D_{60}^0 ввести величину $(D_{60}^0)_к$, что ближе соответствует действительной картине разрушения контакта. Тогда зависимости для определения величины разрушающего градиента контактного размыва супесчаных грунтов можно записать в следующем виде:

$$\text{при } (D_{60}^0)_к \geq 2d_p$$

$$I_{\text{разр}}^{\text{к.р}} = \frac{2,67d_p \operatorname{tg} \varphi (\gamma_{\text{ск}} - \gamma_{\text{в}})}{[(D_{60}^0)_{\text{к}} - d_p] \gamma_{\text{в}}}; \quad (5)$$

при $(D_{60}^0)_{\text{к}} < 2d_p$

$$I_{\text{разр}}^{\text{к.р}} = \frac{5,33d_p^2 \operatorname{tg} \varphi (\gamma_{\text{ск}} - \gamma_{\text{в}})}{[2d_p^2 - 2d_p (D_{60}^0)_{\text{к}} + (D_{60}^0)_{\text{к}}^2] \gamma_{\text{в}}}. \quad (6)$$

Вычисленные по формулам (5) и (6) значения $I_{\text{разр}}^{\text{к.р}}$ были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований контактного размыва супесей. Основные характеристики исследованных грунтов и условий опы-

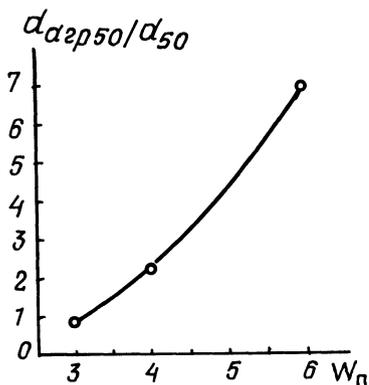


Рис. 2. Зависимость $d_{2p50}/d_{50} = f(W_p)$ для определения среднего диаметра агрегатов супесчаных грунтов.

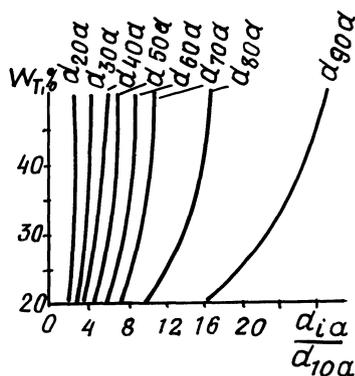


Рис. 3. Номограмма для построения агрегатного состава глинистых грунтов.

тов приведены в работе [8]. В опытах за разрушающий градиент контактного размыва принимали то значение градиента потока, при котором начинались устойчивый вынос защищаемого грунта из зоны контакта в отстойник и интенсивное нарастание осадки штампа, передающего нагрузку на контакт. Результаты сопоставления представлены в табл. 1.

Данные таблицы показывают: с возрастанием пластичности грунта увеличивается и коэффициент K , равный отношению опытного значения разрушающего градиента к расчетному. Такой характер изменения коэффициента K можно объяснить тем, что в расчетных формулах не учтены силы молекулярного сцепления между агрегатами супесчаного грунта. Силы жезти тем больше, чем пластичнее грунт. Сопоставление результатов расчетов с данными опытов позволило дополнительно ввести в формулы эмпирический коэффициент β , учитывающий наличие сцепления в супесчаных грунтах. Для супесей с числом пластичности от 3 до 6 можно принять $\beta = 1,1 \cdot W_p$.

После введения в формулы (5) и (6) значения коэффициента β расчетные зависимости в окончательном варианте примут следующий вид:

Сопоставление опытных и расчетных значений
разрушающих градиентов контактного размыва

Крупность фильтра, мм	$(D_{60}^0)_к$, мм	$\frac{(D_{60}^0)_к}{d_p}$	Разрушающие градиенты		К $\frac{l_{оп.сп}}{l_{расч}}$
			в опытах $l_{оп.сп}$	расчетн. $l_{расч}$	
Супесь 2, $W_n = 3$, $d_p = d_{75 арг} = 0,07$ мм					
3-10	0,31	4,30	0,84	0,183	4,6
3-5	0,26	3,61	1,10	0,314	3,5
3-30	0,37	5,14	0,66	0,143	4,6
5-10	0,55	7,60	0,38	0,107	3,56
2-10	0,16	2,29	2,10	0,573	3,66
2-20	0,17	2,43	2,00	0,496	4,03
5-7	0,44	6,10	0,53	0,125	4,24
Супесь 1, $W_n = 4$, $d_p = d_{70 арг} = 0,13$ мм					
5-10	0,55	4,23	0,84	0,154	5,55
3-20	0,32	2,46	1,85	0,43	4,30
3-30	0,37	2,85	1,50	0,269	5,50
3-5	0,26	2,00	2,50	0,591	4,22
5-7	0,44	3,38	1,18	0,218	5,44
Супесь 3, $W_n = 4$, $d_p = d_{70 арг} = 0,22$ мм					
3-7	0,24	1,10	5,70	1,20	4,75
7-10	0,90	4,10	0,89	0,198	4,75
Супесь 4, $W_n = 6$, $d_p = d_{60 арг} = 0,19$ мм					
3-10	0,31	1,63	3,25	0,433	7,5
5-10	0,55	2,87	1,45	0,118	12,3
5-7	0,44	2,30	2,00	0,30	6,66

при $(D_{60}^0)_к \geq 2d_p$

$$l_{разр}^{к.р} = \frac{2,94 W_n d_p \operatorname{tg} \varphi (\gamma_{ск} - \gamma_B)}{[(D_{60}^0)_к - d_p] \gamma_B}; \quad (7)$$

при $(D_{60}^0)_к < 2d_p$

$$l_{разр}^{к.р} = \frac{5,87 W_n d_p^2 \operatorname{tg} \varphi (\gamma_{ск} - \gamma_B)}{[2d_p^2 - 2d_p (D_{60}^0)_к + (D_{60}^0)_к^2] \gamma_B}. \quad (8)$$

Зависимости (7) и (8) можно рекомендовать для оценки фильтрационной прочности супесчаных грунтов с числом пластичности от 3 до 6 при подборе к ним фильтров в условиях контактной фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж и л е н к о в В.Н. Водоупорные свойства грунтов ядер и экранов высоких плотин. — Л., 1968.
2. П р а в е д н ы й Г.Х. Проектирование и подбор гранулометрического состава фильтров переходных зон высоких плотин. — Л., 1966.
3. И с т о м и н а В.С. О контактном размыве песчаных грунтов. — Трин-та ВОДГЕО. М., 1974, вып. 44.
4. В я л о в С.С., П е к а р с к а я Н.К., М а к с и м я к Р.В. О физической сущности процессов деформирования и разрушения глинистых грунтов. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1970, № 1.
5. Б у р е н к о в а В.В. Исследование поведения суглинка в горизонтальной трещине под действием фильтрационного потока. — Трин-та ВОДГЕО. М., 1974, вып. 44.
6. М и ш у р о в а Г.В. Исследование структуры контакта супесчаных грунтов и фильтров. — В сб.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1981, вып. 11.
7. Рекомендации по расчету обратных фильтров плотин из грунтовых материалов с глинистыми противофильтрационными устройствами и однородных плотин из супесчаных грунтов с $w_{\text{п}}$ 3–5. — М., 1977.
8. М и ш у р о в а Г.В. Контактный размыв супесчаных грунтов. — Трин-та ВОДГЕО. Научные исследования в области гидротехники. М., 1977, вып. 61.

УДК 626.86+626.212

Г.Г.КРУГЛОВ, канд.техн.наук, и.о. доц. (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРИБОРЕ ЭГДА ПРИДАМБОВОГО ДРЕНАЖА, РАБОТАЮЩЕГО С НАВИСАНИЕМ

При определенных условиях над несовершенной придамбовой дренаей, защищающей территорию от подтопления, образуется участок нависания, величину которого можно определить по эмпирической зависимости [1, 2]:

$$\left(\frac{\Delta h}{D}\right)^2 = 0,00414 \frac{q_r}{(l_r^2 - 3,28 l_r)} \left(\frac{t}{D}\right)^{2,7} - 2,83. \quad (1)$$

Зависимость (1) выведена в результате обработки экспериментальных данных, полученных на опытной установке, оборудованной в грунтовом лотке [3]. Несмотря на то, что диапазон значений относительных размеров l_2/l_1 и t/D (рис. 1.), исследованных в грунтовом лотке, достаточно широк, он тем не менее не охватывает всех встречающихся в проектной практике случаев.

В связи с этим были проведены исследования придамбовой дренаей, работающей с нависанием, на приборе ЭГДА 9-60, которые позволили сопоставить результаты опытов, полученных в грунтовом лотке и на ЭГДА, а также значительно расширить область применения зависимости (1).

Существующие методы моделирования безнапорной фильтрации на приборах ЭГДА [4–8] позволяют исследовать работу дренаей как без участка нависания (в этом случае на дренаю подается нулевой потенциал), так и с ним, для чего предварительно вычисляется величина участка нависания. Для моделирования работы дренаей с нависанием была разработана следующая методика исследований.

Для рассматриваемой расчетной схемы по (1) вычислялась величина участка нависания Δh и определялась ордината кривой депрессии над дренаей (см. рис. 1.):