

*Посвящается памяти профессора
Леонида Николаевича Рассказова*

УДК 502/504:627.8

DOI 10.26897/1997-6011/2020-4-84-91

В.В. БУРЕНКОВА, П.М. БУРЕНКОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Российская Федерация

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ ТЕЛА ПЛОТИНЫ И ОСНОВАНИЯ

В статье рассматривается ретроспектива исследований фильтрационной устойчивости несвязных (песчано-гравийных) грунтов, выполненных специалистами советского и российского периодов. Выполнен аналитический обзор основных работ ученых-гидротехников: Н.Н. Павловского, С.В. Избаша, А.Н. Патрашева, Р.Р. Чугаева, В.С. Истоминой, М.П. Павлича, Г.Х. Праведного, Е.А. Лубочкова, В.В. Буренковой, В.Н. Жиленкова и др. Дано подробное описание характерных особенностей работы фильтров и дренажей гидротехнических сооружений, грунтовых плотин, дамб, других водоподпорных конструкций. Обобщены многочисленные подходы к оценке суффозионных процессов в песчано-гравийных грунтах. Приведено описание фильтрационных деформаций несвязных грунтов: суффозии, кольматации (кольматация), проникновения-просыпания, размыва и выпора. Показано, что в своих расчетах авторы зависимостей оперируют такими характеристиками грунтов и фильтрации, как диаметр частиц, диаметр пор, градиент и скорость воды. Подчеркивается, что в современных нормативных документах допустимый естественный градиент в грунтовом сооружении определяется с коэффициентом запаса, зависящим от класса сооружения.

Фильтрационная прочность, плотина, связный и несвязный грунты, диаметр частиц и пор, суффозия, градиент, теоретические и экспериментальные исследования, кольматация.

Введение. В бывшем СССР и России в XX в. можно выделить три основных этапа активного выполнения научно-исследовательских и проектных работ в области изучения фильтрационной прочности грунтов: в период электрификации страны, связанный с выполнением плана ГОЭЛРО в 1920-30-е гг., во время послевоенного восстановления и развития гидроэнергетики и мелиорации в 1940-60-е гг. и, наконец, 1970-90-е гг. – в связи со строительством высоконапорных гидроузлов.

На основании научно-исследовательских работ по вопросам фильтрационной прочности грунтов и натурных наблюдений на эксплуатируемых плотинах разработана концепция оценки прочности грунтов при фильтрационных воздействиях. Особое

место имеет оценка фильтрационной прочности грунтовых плотин с тонкими противофильтрационными элементами на нескальных основаниях, когда активному фильтрационному воздействию подвержены не только тело плотины, основание, но и береговые примыкания.

В основу оценки фильтрационной прочности грунтов положены результаты работ многих отечественных ученых, участвующих в практической реализации своих работ, путем внедрения их в разработку проектов и строительство гидротехнических сооружений: это Н.Н. Павловский, С.В. Избаш, А.Н. Патрашев, Р.Р. Чугаев, В.С. Истомина [1-5] и многие другие.

Ниже приведен анализ результатов исследований фильтрационной прочности

грунтов под воздействием сил фильтрационного потока без учета химической суффозии и химической кольяматации.

Для выполнения этих работ государством финансировались многие научно-исследовательские институты и научно-технические отделы проектных организаций, расположенных по всей стране и приближенных к территориям строительства. Исследовались несвязные и связные грунты (которые проектировщики называют строительными материалами), используемые в различных элементах сооружений. Материалы исследований представлены в хронологической последовательности (примерно) их выполнения.

Материал и методы исследований.

В качестве исходных материалов были использованы открытые данные о результатах фильтрационных исследований в бывшем СССР. Методологической основой исследований стали фундаментальные положения теории фильтрации и результаты теоретических работ в указанной области. Кроме того, использованы общеизвестные методы научно-познавательной деятельности: эмпирические научные методы (пассивный эксперимент, использующий собранные и систематизированные данные), а также универсальные, общенаучные методы (анализ и синтез, индукция и дедукция, обобщение).

Основными типами исследованных грунтов стали несвязные и связные грунты.

Несвязные грунты – это песчаные, песчано-гравийные, гравийно-галечниковые грунты, характеризующиеся коэффициентом разноразмерности и диаметром пор D_0 . Коэффициент разноразмерности: $K_{60/10} = d_{60} / d_{10}$, где d_{60} и d_{10} – диаметры частиц 60% и 10% обеспеченности. В современных нормативных документах для упрощения принято обозначать $K_{60/10} = K_n$.

Возможные фильтрационные деформации в несвязных грунтах: суффозия; кольяматация; проникание – просыпание мелких фракций из верхнего слоя в нижний, и, наоборот, под действием фильтрационного потока; размыв песчаного или более мелкозернистого грунта на контакте с более крупнозернистым; размыв поверхности незащищенного грунта на откосе; выпор объема грунта в нижнем бьефе на выходе фильтрационного потока.

Силы, удерживающие грунты от разрушения, – это силы трения ($tg\phi$), зацепления, пригрузки грунтом и геометрическое соотношение размера частиц и размера пор контактируемых грунтов.

Результаты и обсуждение

1. *Общая фильтрационная прочность грунтов плотины и основания.* Р.Р. Чугаевым (ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева) [4] при оценке фильтрационной прочности грунтов плотины и основания было предложено выполнять проверочный расчет по контролирующему градиенту i_k – казуальная прочность. Величина допускаемого градиента i_k получена на основании обобщения большого количества эксплуатируемых и проектируемых плотин. В основе этого метода фильтрационная прочность грунтов оценивается неравенством:

$$i_k > (i_k)_{Д}, \tag{1}$$

где i_k – контролирующий градиент для всей области фильтрации или ее отдельного фрагмента; $(i_k)_{Д}$ – допускаемое значение контролирующего градиента, полученное на основании прошлого опыта строительства и эксплуатации плотин. Метод был предложен как приближенный с последующим уточнением конструкции плотины, ее элементов и учетом коэффициента прогресса.

В современных нормативных документах [6, 7] общая фильтрационная прочность грунтов плотины рассматривается при назначении длины подземного контура, увязанной с конструкцией плотины, включающей в себя непроницаемые и малопроницаемые участки по сравнению с проницаемостью основания, а также понур, зубья, шпунты и дренажи. За параметр общей фильтрационной прочности в основании сооружения с дренажом принимается величина осредненного критического градиента $I_{cr.m}$. Допускаемый естественный градиент в сооружении определяется по зависимости:

$$I_{est.m} \leq I_{cr.m} / \gamma_n, \tag{2}$$

где γ_n – коэффициент запаса, зависящий от класса сооружения.

Местная фильтрационная прочность. Для оценки прочности грунтов сооружения недостаточно критерия общей фильтрационной прочности, так как фильтрационный поток неравномерно движется через тело плотины и основание. Имеются зоны повышенных скоростей и градиентов, в которых возможны опасные фильтрационные деформации: в понуре, экране, ядре, выходе потока на низовой грани ядра и плотины, повышенные градиенты в зоне дренажей и выхода потока из основания в нижний бьеф. В этих зонах возможны опасные фильтрационные

деформации, зависящие от конструкции элементов сооружения, величины скорости или градиента фильтрационного потока и вида грунта. Расчетный градиент на контактный выпор в противофильтрационном элементе (рис. 1, точка 7) принимается на низовой стороне ядра в зоне сопряжения депрессионной кривой потока с уровнем воды нижнего бьефа.

Расчетная величина местного критического градиента определяется на основе исследований общей картины фильтрации в теле плотины, основании и примыканиях плотины к откосам створа. Схему движения фильтрационного потока можно получить, используя широко известный метод электрогидродинамической аналогии (ЭГДА). Используя современную вычислительную технику, расчет фильтрации необходимо выполнять на пространственной модели

сооружения, учитывая наиболее опасные сочетания нагрузок статических и фильтрационных. Современные методы расчета напряженно-деформированного состояния плотины и основания позволяют выявить зоны сжимающих и растягивающих напряжений в плотине, определить зоны возможного трещинообразования в виде поперечных и продольных трещин и движение потока в этих зонах. Это особенно актуально для тонких противофильтрационных элементов: ядер, экранов, понуров. Оценка местной фильтрационной прочности не всегда может быть оценена по нормативным документам. В отдельных ответственных случаях требуется выполнение лабораторных или полевых исследований и дополнительных расчетов, уточняющих фильтрационные параметры в теле и основании сооружения.

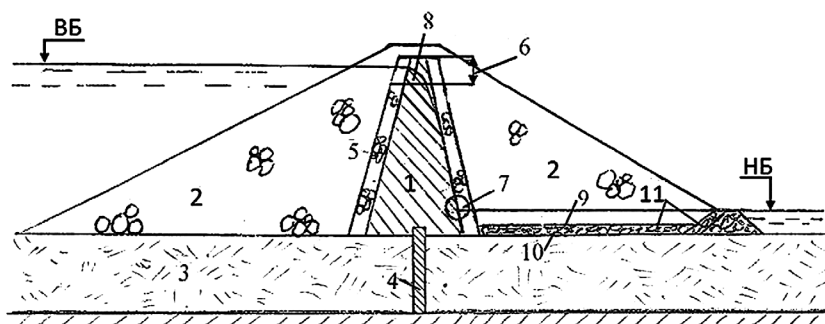


Рис. 1. Схема возможных фильтрационных деформаций грунтов плотин:

- 1 – ядро из связного грунта; 2 – призма из песчано-гравийного грунта;
3 – нескальное основание; 4 – противофильтрационная завеса; 5 – защитные фильтры;
6 – зона возможного трещинообразования в ядре.

Виды фильтрационных деформаций: 7 – контактный выпор грунта ядра в поры фильтра;
8 – размыв грунта в трещине ядра; 9 – размыв песчано-гравийного грунта на контакте с дренажем в основании призмы; 10 – размыв грунта основания на контакте с дренажем;
11 – недопущение просыпания грунта призмы и фильтра банкета

2. Оценка фильтрационной прочности несвязных грунтов

2.1. Суффозионные процессы и расчет суффозионности разнозернистых грунтов. Суффозия – это явление, происходящее в несвязных разнозернистых грунтах. Мелкие минеральные частицы, находящиеся в порах между частицами крупнозернистого массива, составляющих «скелет» грунта, могут свободно перемещаться при воздействии на них критических фильтрационных сил и выноситься потоком за пределы массива или оставаться в тупиковых зонах (рис. 2). При этом крупные частицы, слагающие скелет толщи или слоя грунта, остаются на месте. Деформации массива не происходит, но может увеличиться проницаемость

грунта. Опасность заключается в том, что выносимые частицы могут откладываться в других элементах сооружения, дренажах, скважинах и кольматировать их. Кроме того, если скелет неустойчив, возможна осадка материала.

Вопросу изучения суффозии уделялось много внимания различными авторами. Получены практические рекомендации для определения возможной суффозионности разнозернистых грунтов. Так, А.Н. Патрашев [3], Т.С. Печенкин (ВНИИГ) [8] предлагали разделить грунт на скелет и заполнитель. Рассматривались грунты с коэффициентом разнозернистости $K_{\text{н}} = 2 \div 7$ (мелкозернистые и среднезернистые пески) – схематизированные грунты, состоящие из скелета

одной крупной фракции и заполнителя – также одной мелкой фракции.

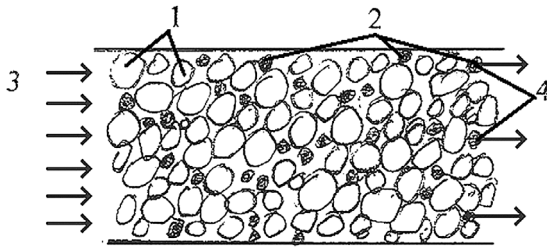


Рис. 2. Схема суффозии

в разнозернистых грунтах:

1 – частицы скелета грунта;

2 – суффозионные частицы;

3 – фильтрационный поток;

4 – выносимые суффозионные частицы

В.С. Истомина (ВНИИ ВОДГЕО) [9] на основании исследований песчано-гравийных и гравийно-галечниковых грунтов с коэффициентом разнозернистости в пределах $K_n = 38 \div 535$ приняла разделение грунта на скелет и заполнитель. Заполнителем приняты частицы с размером диаметра менее D_{10} по кривой гранулометрического состава рассматриваемого грунта. Получена зависимость величины разрушающего градиента от физических характеристик скелета и заполнителя: $i_{кр} = f(\operatorname{tg}\varphi, D_{10ск}, d_{10ап})$. Дальнейшая обработка данных показала, что для разных форм кривых гранулометрического состава величина разделяющих диаметров может быть разной: меньше D_{10} и больше D_{10} .

М.П. Павчич [10], Г.Х. Праведный (ВНИИГ) [11] предложили практические рекомендации расчета суффозионности грунтов. За характерные размеры частиц рассматриваемого грунта приняты $d_5(d_3)$ и d_{17} по кривой гранулометрического состава. Практически несущими считают материал, если удовлетворяется условие:

$$d_3/d_{17} \geq N, \quad (3)$$

где d_5, d_{17} – диаметры частиц 5%-ной и 17%-ной обеспеченности;

$$N = 0,32 \chi (K_n)^{1/6} \cdot \left(\frac{n_f}{n_f - 1} \right), \quad (4)$$

где χ – коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте или коэффициент локальности суффозии, определяемый как

$$\chi = 0,35[2 + (K_n)^{0,5}], \quad (5)$$

максимальная пористость

$$n_f = (n_o - 0,1 \cdot \lg K_n). \quad (6)$$

Для песчано-гравийных материалов $n_o = 0,4$; для щебенистых $n_o = 0,45$.

Этот метод широко используется при расчетах суффозионности грунтов. При выполнении условия (3) грунт считается несущим. Если отношение (3) не выполняется, то проверка суффозионности выполняется по гидродинамическому критерию:

$$Dc i = \left[(\varphi_1)^{0,5} \frac{D^0}{7,14\varphi_0} \right] \cdot I_{ect} \leq d_5; \quad (7)$$

$$\varphi_0 = 0,6 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_w - 1} \right) \cdot f^* \cdot \sin \left(30^\circ + \frac{\theta}{8} \right), \quad (8)$$

где φ_1 – коэффициент, учитывающий форму и шероховатость частиц грунта;

$$f^* = 0,80 - 1,8 \cdot n_f + 0,006K_n. \quad (9)$$

Е.А. Лубочков (ВНИИГ) [12] предложил разделить грунты на суффозионные и несущие для конкретных составов. Его данные использованы в дальнейшем при сопоставлении исследований результатов суффозионности грунтов.

В.В. Буренкова (ВНИИ ВОДГЕО) [13] совместно с М. Макран разработали методику, уточняющую определение размера частиц, разделяющую грунт на скелет и заполнитель. Исследованы 14 составов, близких к естественным песчано-гравийным грунтам с K_n в пределах $3 \div 200$, $d_{\max} = 60$ мм, с преимущественным содержанием крупных фракций. Приготовленные навески фракций принятого гранулометрического состава укладывали в емкость, начиная с более крупной фракции, и измеряли высоту образца. В эту навеску добавляли следующую фракцию и т.д. Анализируя изменение высоты образца, определили величину частиц, разделяющих грунт на скелет и заполнитель $d_{рзд}$. Исследование этих же грунтов в фильтрационном приборе показало, что максимальные выносимые потоком частицы d_c близки $d_{рзд}$, полученным «сухим» методом.

Для обобщения данных приняты условные коэффициенты разнозернистости грунтов по трем характерным диаметрам d_{90}, d_{60}, d_{15} в виде отношений $\eta' = d_{90}/d_{60}$ и $\eta'' = d_{90}/d_{15}$. Результаты этих опытов и других авторов в координатах η', η'' приведены на рисунке 3.

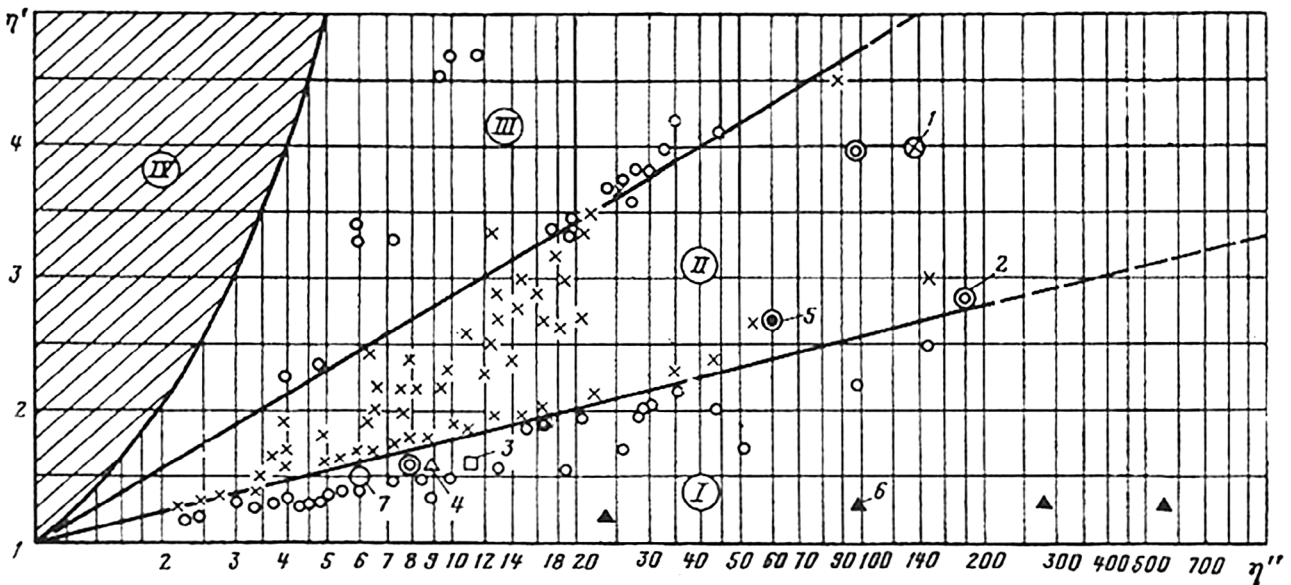


Рис. 3. Результаты экспериментов по оценке суффозионности грунтов:

I, III – зоны суффозионных составов (о – отдельные опыты);

II – зона несущезуффозионных грунтов (х – отдельные опыты);

IV – зона не существующих в природе грунтов. Несуффозионные составы:

1 – по В.С. Истоминой; 2 – по А.Е. Лубочкову; 3 – по А.Н. Патрашеву;

4 – по В. Энхарту; 5 – по М.П. Павчичу

Суффозионные составы: 6 – по В.С. Истоминой; 7 – по М.П. Павчичу

Здесь зона II характеризует несущезуффозионные грунты, а зоны I и III – суффозионные. Частицы $d_{рад}$ можно принять как максимальные суффозионные частицы d_c . Величину $d_{рад}$ можно определить по зависимости:

$$0,55(\eta'')^{-1,5} < d_{рад}/d_{макс} < 0,15(\eta'')^{-1,5}, \quad (10)$$

где $d_{макс}$ – максимальный размер частиц грунта.

Сопоставление максимальных диаметров суффозионных частиц, полученных в опытах $d_{рад}$, с диаметрами частиц d_{ci} , рассчитанными по методике [13], показали, что частицы $d_{рад}$ меньше d_{ci} , следовательно, количество выносимых частиц будет меньше.

2.2. Кольматация несвязных грунтов.

Кольматация рассматривается при контактировании разных по крупности грунтов при воздействии фильтрационного потока, способного перемещать мелкие суффозионные частицы. Кольматация внутренняя – это перемещение мелких частиц в порах грунта, отложение их в тупиковых зонах (порах). Кольматация внешняя – отложение выносимых мелких частиц в поры контактируемого грунта. При этом, как правило, увеличивается проницаемость слоя, из которого выносятся частицы и уменьшается проницаемость в слое, где они откладываются.

Согласно мнению А.Н. Патрашева (ВНИИГ) [3], чтобы выносимые частицы не кольматировали поры смежного грунта (фильтра), должен выполняться критерий:

$$d_{сiмакс} \leq D^0/1,1a^*, \quad (11)$$

где D^0 – диаметр пор кольматируемого материала; a^* – коэффициент, зависящий от крупности кольматируемых частиц и сил воздействия фильтрационного потока. Для грунтов в диапазоне пылеватых – мелкозернистых песков и числа Рейнольдса в пределах $Re_0 = 0,1 \div 1$ – коэффициент a^* изменяется в пределах $2,5 \div 4$.

2.3. Проникание-просьпание мелких фракций из верхнего слоя в нижний. Г.Х. Праведный (ВНИИГ) [15] изучал проникание мелких фракций в поры крупнозернистого грунта – это наиболее распространенный вид деформаций при подборе многослойных фильтров дренажей. Критерий непросьпания мелкозернистого грунта через средние поры крупнозернистого выполняется при условии:

$$d_{ci} = D^0/1,8 \leq d_{50}, \quad (12)$$

где d_{ci} – сводообразующие частицы над порой крупнозернистого грунта (фильтра), принимается $d_{ci} = d_{50}$ – средний диаметр частиц мелкозернистого защищаемого грунта.

2.4. Проверка на размыв мелкозернистого грунта на контакте с крупнозернистым. Контактная фильтрация вдоль двух смежных грунтов, мелкозернистого

и крупнозернистого, возможна при условии расположения слоев: крупный верхний слой – нижний мелкозернистый, и наоборот. Положение слоев может быть горизонтальным и наклонным. Изучением размыва мелкозернистого грунта на контакте с крупнозернистым для многих грунтовых плотин занимались С.В. Избаш, Н. Козлова, Р.Р. Чугаев, В.С. Истомина и др. (ВНИИГ, ВНИИ ВОДГЕО, Институт Гидропроект). Обобщающей зависимости получено не было.

В.С. Истоминой (ВНИИ ВОДГЕО) [9] проведены исследования на контактный размыв песков и крупнозернистых грунтов в широком диапазоне их составов при создании горизонтального фильтрационного потока и градиенте $I_{\text{разр}}^{\text{кр}} \leq 1,3$. Получена граничная кривая зависимости $D_{50}/d_{50} = f(K_n/\kappa_n)$, разделяющая область на допустимые и недопустимые контактируемые составы (рис. 4).

Г.Х. Праведный и М.П. Павич (ВНИИГ) [10] на основании большого количества опытных данных исследования контактного размыва несвязных грунтов предложили зависимость для определения величины разрушающего градиента:

$$I_p = \frac{1}{\varphi_1^{0,5}} \cdot \left(2,3 + 15 \frac{d_{ci}}{D^0} \right) \frac{d_{ci}}{D^0} \cdot \sin \left(30^\circ + \frac{\theta}{8} \right), \quad (13)$$

где φ_1 – коэффициент, учитывающий форму и шероховатость частиц грунта; $d_{ci} = d_5$ – диаметр частиц, выносимых фильтрационным потоком; D^0 – средний диаметр фильтрационных пор в слое фильтра; θ – угол между направлением скорости фильтрации и силой тяжести.

Эта зависимость предлагается для широкого диапазона гранулометрических составов грунтов, не ограничивая их коэффициентом разнородности.

В.Н. Жиленков (ВНИИГ) [16] отмечал, что размыв несвязного грунта на контакте с крупнозернистым происходит при критической скорости фильтрации $v_{\text{кр}}$ в порах (коллекторах) крупнозернистого грунта. На основании теоретических и экспериментальных исследований получена зависимость критической скорости, которая является функцией скорости v_k и диаметров пор D^0 в порах фильтра (коллекторах), расчетного диаметра частиц размываемого грунта d_c , характеристик грунта и воды, числа Рейнольдса в порах крупнозернистого грунта (рис. 5).

Выводы

При разработке проектов фильтрационной прочности грунтовых плотин и оснований крупных гидроузлов исследования

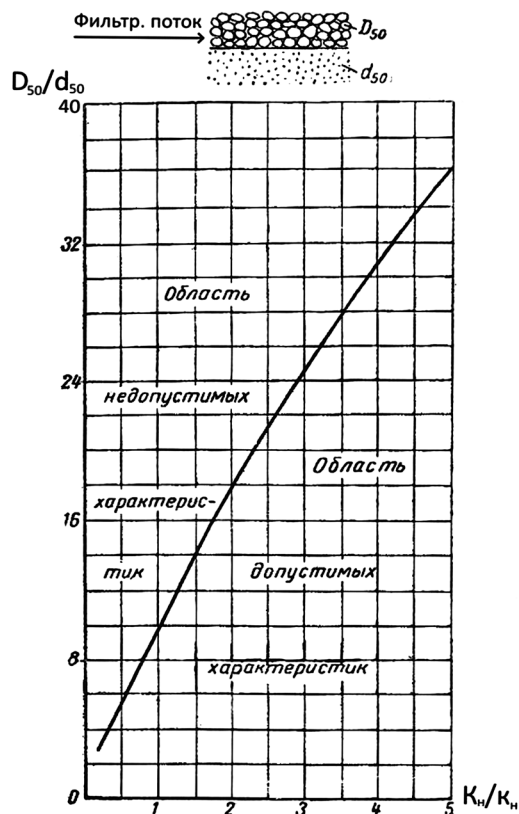


Рис. 4. Область допустимых характеристик несвязных грунтов на контактный размыв по данным В.С. Истоминой

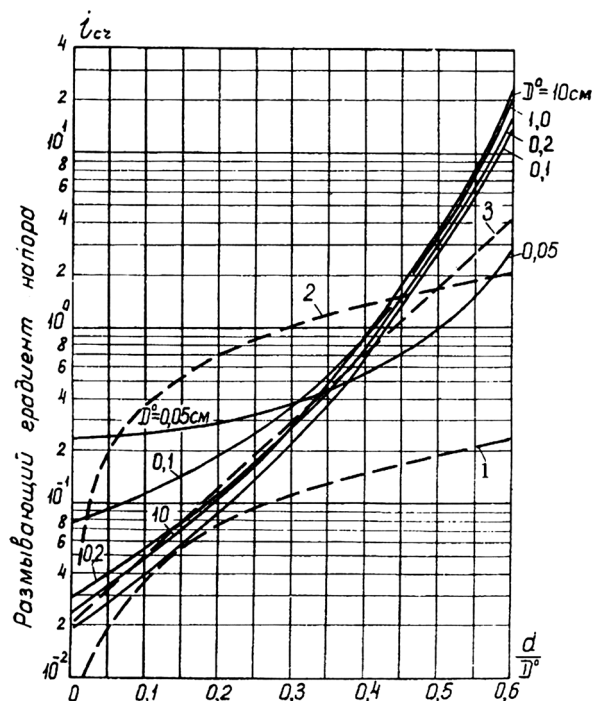


Рис. 5. График изменения размывающих градиентов напора фильтрационного потока в крупнозернистых коллекторах:

1 и 2 – графики «нормативных» зависимостей; 3 – график зависимости $i_p = 2 \cdot 10^{-2} \exp(8,84 d/D^0)$, рекомендуемой для оценки сопротивляемости несвязных грунтов контактному размыву

по обоснованию конструкций из несвязанных грунтов выполнялись многими исследователями. Это позволило не только выполнять сопоставительные расчеты фильтрационной устойчивости песчано-гравийных грунтов в различных конструкциях гидротехнических объектов, подтверждать достоверность полученных результатов, но и принимать более обоснованные проектные решения. Кроме того, получены зависимости для определения величины разрушающего градиента, в том числе для широкого диапазона гранулометрических составов грунтов без ограничения их коэффициентом разнотонности. Результаты обобщенных выше работ и итоги многих других исследований использованы при составлении соответствующих нормативных документов, успешно вошедших в практику проектирования гидротехнических сооружений в нашей стране и за рубежом.

Библиографический список

1. Павловский Н.Н. Собрание сочинений. – Т. II. – М.–Л., 1956. – 771 с.
2. Избаш С.В. Фильтрационные деформации грунта // Известия ВНИИГ. – 1933. – № 10.
3. Патрашев А.Н. Напорное движение грунтового потока, сопровождающееся выносом мелких частиц грунта // Известия НИИГ. – Т. 22. – 1938. – С. 5-49.
4. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения (теоретические основы расчёта) – Л.: Энергоиздат, 1967. – 460 с.
5. Истомина В.С. Фильтрационная устойчивость грунтов. – М.: Госстройиздат, 1957. – 219 с.
6. СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85. URL: <http://docs.cntd.ru/document/553863425>.
7. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов. СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095521>.
8. Печенкин Т.С. К вопросу о проектировании обратных фильтров // Известия ВНИИГ. – 1936. – № 31.
9. Истомина В.С. Исследование контактного размыва песчаных и гравелистых грунтов // Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений: Сб. № 2. – Л.: ВНИИ ВОДГЕО, 1956.
10. Павич М.П. Способ определения несuffозионных гранулометрических составов грунта // Известия ВНИИГ. – 1961. – Т. 68. – С. 197-202.
11. Праведный Г.Х. Руководство по расчетам фильтрационной прочности плотин из грунтовых материалов. П 12-73. – Л.: «Энергия», Ленинградское отделение, 1973. – 100 с.
12. Лубочков Е.А. Несuffозионные несвязные грунты // Известия ВНИИГ. – 1962. – Т. 71.
13. Буренкова В.В., Макран М. К обоснованию надежности suffозионной прочности грунтов в гидротехнических сооружениях // Энергетическое строительство. – 1983. – № 12. – С. 21-25.
14. Руководство по расчетам фильтрационной прочности напорных грунтовых сооружений ГАЭС. П 93-81/ВНИИГ. – Л.: ВНИИГ, 1981. – 74 с.
15. Праведный Г.Х. Проектирование и подбор гранулометрического состава фильтров переходных зон высоких плотин. – М.–Л.: Энергия, 1966.
16. Жиленков В.Н. Руководство по расчету фильтрационной прочности грунтовых сооружений и их оснований. П 59-94/ВНИИГ. – СПб.: ВНИИГ, 1995.

Материал поступил в редакцию 09.08.2020 г.

Сведения об авторах

Буренкова Валентина Васильевна, кандидат технических наук, г. Москва, 129281, ул. Енисейская, д. 25; e-mail: burenkovpm@gmail.com

Буренков Павел Михайлович, старший преподаватель кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, ауд. 510 г; e-mail: burenkovpm@gmail.com

V.V. BURENKOVA, P.M. BURENKOV

Federal state budgetary institution of higher education «National research Moscow construction university», Moscow, Russian Federation

DOMESTIC EXPERIENCE OF ASSESSING THE FILTRATION STRENGTH OF NON-COHESIVE SOILS OF DAM BODY AND BASE

The article considers a retrospective of study of the filtration stability of non-cohesive (sand and gravel) soils carried out by specialists of the Soviet and Russian periods. These are the works of hydraulic scientists: Izbash S.V., Patrashev A.N., Chugaev R.R., Istomina V.S.,

Pavchich M.P., Pravedny G.H., Lubochkov E.A., Burenkova V.V., Zhilenkov V.N. and others. There is given a detailed description of characteristic features of the operation of filters and drainages of hydraulic structures, earth dams, dikes, other water retaining structures. Numerous approaches to the suffusion processes in sand-gravel soils are generalized. The description of filtration deformations of non-cohesive soils is given: suffusion, colmatation (colmatage), penetration-spillage, erosion and flooding and rebounding. It is shown that in their calculations the authors of dependencies operate such characteristics of soils and filtration as the diameter of particles, gradient and water speed. It is stressed that in modern regulations the allowed natural gradient in a ground construction is determined with a reserve factor, depending on the class of the structure.

Filtration resistance and strength; dam; cohesive and non-cohesive soils; diameter of particles and pores; suffusion; gradient; theoretical and experimental studies; colmatation.

References

1. **Pavlovsky N.N.** Sobranie sochinenij. t. II. – M.–L.: 1956. – 771 s.
2. **Izbash S.V.** Filtratsionnye deformatsii grunty // Izvestia VNIIG. – 1933. – No. 10.
3. **Patrashev A.N.** Napornoe dvizhenie gruntovogo potoka, soprovozhdayushcheesya vynosom melkih chastits grunta // Izvestia NIIG. – 1938. – T. 22. – S. 5-49.
4. **Chugaev R.R.** Zemlyanye gidrotehnicheskie sooruzheniya (teoreticheskie osnovy). – L.: Energoizdat, 1967. – 460 s.
5. **Istomina V.S.** Filtratsionnaya ustoichivost grunтов. – M.: Gosstroyizdat, 1957. – 219 s.
6. SP 23.13330.2018 Osnovaniya gidrotehnicheskikh sooruzhenij. Aktualizirovanna y redaktsiya SNIp 2.02.02-85. <http://docs.cntd.ru/document/553863425>
7. SP 39.13330.2012 Plotiny iz gruntovykh materialov. SNIp 2.0605-84. Plotiny iz gruntovykh materialov. <http://docs.cntd.ru/document/1200095521>
8. **Pechenkin T.S.** K voprosu o proektirovanii obratnykh filtrov. // Izvestia VNIIG. – 1946. – No. 31.
9. **Istomina V.S.** Issledovanie contactno-go razmyva peschanykh i gravelistykh grunтов. erosion of sandy and gravelly soils. Voprosy filtratsionnykh raschetov gidrotehnicheskikh sooruzhenij. Sb. No. 2. – L.: VNII VODGEO, 1956 g.
10. **Pavchich M.P.** Sposob opredeleniya nesuffuzionnykh granulometricheskikh sostavov grunta. // Izvestia VNIIG. – 1961. – T. 68. – S. 197-202.
11. **Pravedny G.H.** Rukovodstvo po raschetam filtratsionnoj prochnosti plotin iz grunтовykh material. P 12-73. – L.: «Energiya», Leningradskoe otdelenie, 1973. – 100 s.
12. **Lubochkov E.A.** Nesuffuzionnye nesvyazattye grunty // Izvestia VNIIG. – 1962. – T. 71.
13. **Burenkova V.V., Makran M.** K obnoveniyu nadezhnosti suffuzionnoj prochnosti grunтов v gidrotehnicheskikh sooruzheniyah // Energeticheskoe stroitelstvo. – 1983. – No. 12. – S. 21-25.
14. Rukovodstvo po raschetam filtratsionnoj prochnosti napornyykh gruntovykh sooruzheniy GAES. P 93-81/ VNIIG. – L.: VNIIG, 1981. – 74 s.
15. **Pravedny G.H.** Proektirovanie i podbor granulometricheskogo sostava filtrovperehodnykh zon vysokikh plotin. – M.–L.: Energiya, 1966.
16. **Zhilenkov V.N.** Rukovodstvo po raschetu filtratsionnoj prochnosti gruntovykh sooruzheniy i ih osnovanij. P 59-94 / VNIIG. – SPbt.: VNIIG, 1995.

The material was received at the editorail office
09.08.2020

Information about the authors

Burenkova Valentina Vasilievna, candidate of technical sciences, 129281, Moscow, Eniseyskaya str., 25; e-mail: burenkovpm@gmail.com

Burenkov Pavel Mikhailovich, senior lecturer of the department of hydraulics and hydraulic engineering building, NIU, MGSU, Moscow, 129337, Yaroslavskoe shosse, 26; e-mail: burenkovpm@gmail.com