

SOME FEATURES OF DETERMINING FILTRATION CAPACITY OF THE SOIL OF LOW-PRESSURE EARTH DAMS

E. Zh. Murtazin, O. A. Kalugin, S. M. Kan,
V. D. Vyalov, O. V. Suldina, Sh. G. Kurmangaliyeva

LLC "Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin", Almaty, Kazakhstan

Keywords: soils, coefficient of filtration, infiltration, capillary pressure, compression curve.

Abstract. In article considers methods of determining the equivalent capillary pressure for soils subjected a gravitational compaction in water basins, the particles which are not connected by cementation. Conducted laboratory research samples of a ground a natural intact structure, the results of which showed absence characteristic of the inflection points of compression. For determining the capillary pressure used graphical and calculation methods recommended in the works N. N. Verigin. Clarified the meaning of filtration coefficient for the low-pressure earth dams.

УДК 624.131.1

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВ НИЗКОНАПОРНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ ДАМБ

Е. Ж. Муртазин, О. А. Калугин, С. М. Кан,
В. Д. Вялов, О. В. Сульдина, Ш. Г. Курмангалиева

ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: грунты, коэффициент фильтрации, инфильтрация, капиллярное давление, компрессионная кривая.

Аннотация. В статье рассматриваются методы определения эквивалента капиллярного давления для грунтов, подвергшихся гравитационному уплотнению в водных бассейнах, частицы которых не связаны

между собой цементацией. Проведены лабораторные исследования образцов грунта естественной ненарушенной структуры, результаты которых показали отсутствие характерных точек перегиба кривой компрессии. Для определения величины капиллярного давления использованы графический и расчетный методы, рекомендованные в работах Н. Н. Веригина. Уточнено значение коэффициента фильтрации для низконапорных земляных плотин.

Движение воды в сухих породах называется инфильтрацией. Г. Н. Каменский [1] предлагает различать свободное просачивание и нормальную инфильтрацию. В первом случае при небольших количествах воды, поступающих в породу, движение воды идет при частичном заполнении пор водой, и основным фактором движения является сила тяжести.

При поступлении в породы значительных количеств воды просачивание осуществляется сплошным потоком, поры все заполнены водой, и на границе “мокрой” и “сухой” зон развиваются капиллярные силы, создающие в насыщенной зоне разряжение, под действием которого и совершается капиллярное всасывание. Сила всасывания характеризуется величиной капиллярного давления, которое ускоряет процесс инфильтрации.

Для водонасыщенных грунтов, с наличием в порах свободной гидравлически непрерывной воды, давление является одной из причин обуславливающих связность дисперсных грунтов. Действительно уплотнение грунта, до некоторой величины объема пор (коэффициента пористости), может быть достигнуто не только приложением внешней уплотняющей нагрузки, но и путем обезвоживания, когда объем грунта уменьшается под действием всестороннего капиллярного давления, т.е. давлением менисков воды по поверхности раздела воздух – вода.

В ряде практических приложений механики грунтов требуется знать порядок величин сил, действие которых может заменить связность грунта, обусловленную его уплотнением. Такими эквивалентными силами могут быть капиллярные, поэтому среднее значение этих сил и называется эквивалентом капиллярного давления. Эквивалент капиллярного давления можно определить несколькими способами: по компрессионной кривой (рисунок 1) нарушенной и естественной структуры и непосредственными измерениями на специальных приборах (одометрах). Первый способ применяется для грунтов, подвергшихся гравитационному уплотнению в водных бассейнах, и заключается в определении эквивалента капиллярного давления по величине природного коэффициента пористости и по главной ветви компрессионной кривой, исходя из выражения (1):

$$P_k = 0,8p_s, \quad (1)$$

где P_k – эквивалент капиллярного давления; P_s – уплотняющее давление.

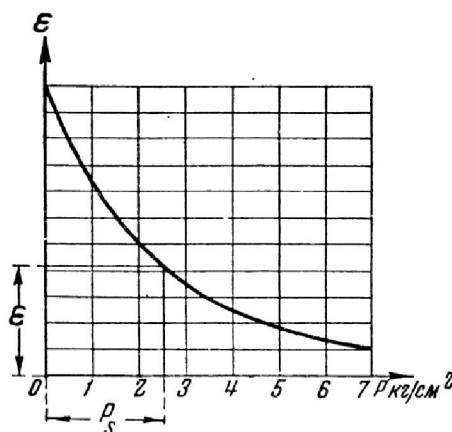


Рисунок 1 – Определение капиллярного давления по главной ветви компрессионной кривой

Второй способ определения эквивалента капиллярного давления применяется для грунтов, частицы которых не связаны между собой цементацией. Заключается он в непосредственном замере того давления, при котором образец грунта естественной ненарушенной структуры, заложенный в компрессионный прибор, начинает деформироваться при увеличении нагрузки в условиях невозможности его набухания. На компрессионной кривой (рисунок 2) точка перегиба будет приближенно определять величину эквивалента капиллярного давления P_k .

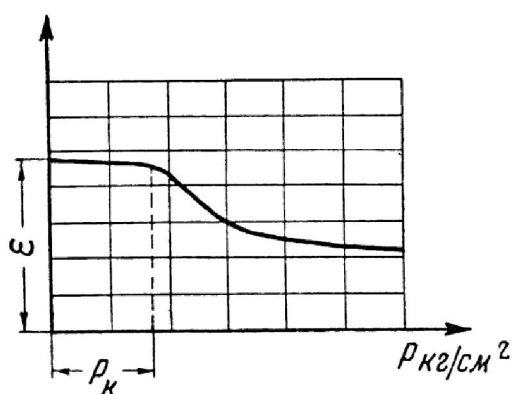


Рисунок 2 – Определение капиллярного давления в одометре по образцу грунта ненарушенной структуры в условиях невозможности его набухания

Движение подземных вод в условиях полного заполнения пор и трещин водой называется фильтрацией. Она протекает от мест с большим пьезометрическим напором к местам с меньшим напором. Разность пьезометрических напоров называется напорным градиентом. Одной из основных фильтрационных характеристик грунтов, используемых в инженерных расчетах, является коэффициент фильтрации, который для слабопроницаемых пород определяется методом инфильтрации при установившемся движении [2].

Н. Н. Биндеман [3] рекомендовал определять коэффициенты фильтрации суглинков и тяжелых супесей, обладающих высокой капиллярностью, методом Нестерова с учетом неустановившегося движения. Методика определения коэффициента фильтрации сводится к следующему. Для двух моментов времени t и t_1 определяется суммарное количество воды V и V_1 , просочившейся в грунт. В начале для расчета используется формула (2):

$$\frac{t}{t_1} = \alpha \frac{1 - \frac{H}{h} \ln \left(1 + \frac{H}{h}\right)}{1 - \frac{\alpha H}{h} \ln \left(1 + \frac{H}{\alpha h}\right)} \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{V}{V_1}$; H – напор, равный сумме глубины воды в шурфе (H_0) и капиллярного давления (H_k); h – неизвестная глубина, на которую просачивалась вода от дна шурфа.

В формуле (2) неизвестным является отношение $\frac{h}{H}$, определяемое подбором. Для облегчения расчетов H и h Биндеманом рекомендован график зависимости $\frac{h}{H}$ от $\frac{t}{t_1}$, отвечающий соотношению $\alpha=2$, построенный для случая, когда за время t_1 объем просочившейся в грунт воды составляет половину поглощенной воды за время t всего опыта.

Коэффициент фильтрации определяется по формуле (3):

$$K = \frac{\beta V}{F t} \quad (3)$$

где

$$\beta = 1 - \frac{H}{h} \ln \left(1 + \frac{H}{h}\right) \quad (4)$$

F – площадь внутреннего кольца; V – объем воды, поступивший в грунт за время t .

В настоящее время, для определения значения коэффициента фильтрации (K_f) в не водоносных породах, проводят наливов воды в шурф методами А. К. Болдырева и Н. С. Нестерова [2].

Для проведения наливов следует выбрать участок, на котором уровень грунтовых вод залегает на глубине более 5 м, а изучаемая порода однородна по водопроницаемости.

Налив воды производится в приямок круглого сечения глубиной около 20 см, вырытый в дне шурфа. Стены закрепляются, дно выравнивается и покрывается защитным слоем из мелкого гравия до 2–3 см.

В приямке устанавливается рейка. Опыт ведут при постоянной высоте столба воды $h = 10$ см. Добавляют 2 л воды и следят, за какой промежуток времени этот объем воды просочится в грунт. Затем добавляют еще 1 л воды. Опыт ведется до стабилизации фильтрационного расхода воды.

По методу А.К. Болдырева определение коэффициента фильтрации грунтов производят по формуле (5) [2]:

$$K_{\phi} = Q / F, \quad (5)$$

где Q – стабилизировавшийся расход воды, $\text{м}^3/\text{сут}$; F – фильтрационная площадь приямка (дно или дно и смоченные стенки), м^2 .

При использовании метода Н.С. Нестерова [1] необходимо иметь два кольца: внутреннее и внешнее, диаметром от 10 до 20 см, которые располагаются на дне приямка.

Коэффициент фильтрации грунтов определяется по формуле (6):

$$K_{\phi} = \frac{Q}{F \cdot J} = \frac{Q}{F(H + h_k + h)}, \quad (6)$$

где Q – установившийся расход из внутреннего цилиндра, $\text{м}^3/\text{сут}$; F – площадь внутреннего цилиндра, м^2 ; H – высота столба воды в приямке, м; h_k – капиллярное давление принимается для суглинка легкого – 0,8 м, суглинка тяжелого – 1,0 м; супеси – 0,7 м, песка мелкозернистого – 0,3 м; h – глубина просачивания, м.

В теплый период 2013 г. специалистами института гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина было оценено современное состояние системы земляных плотин прудов и водохранилищ правого сбросного канала «Сорбулак». В ходе проведения исследований определялся коэффициент фильтрации песков и супеси, слагающих основное тело низконапорных дамб. Опытные наливы в шурфы методом Нестерова проводились на характерных участках низконапорных плотин, определенных по результатам георадиолокационного зондирования, с учетом гидротехнических особенностей каждой отдельной дамбы. При проходке шурфов были отобраны образцы грунта, ненарушенной структуры, для лабораторного физико-механического анализа. Глубина просачивания воды, в процессе налива, определялась проходкой. Продолжительность опыта ограничивалась стабилизацией инфильтрационного расхода. По результатам наливов были построены графики зависимости расхода воды Q от времени t . Ниже приведен пример расчета коэффициента фильтрации на основании данных опытного налива в шурф дамбы пруда 1Б правобережной системы канала «Сорбулак».

Тело дамбы составляет песок желтовато-серого цвета, преимущественно мелкий, полимиктовый, средней плотности сложения, с прослоями супеси (рисунок 3).

Пруд 1Б, налив № 4, абс. высота 625,88 м

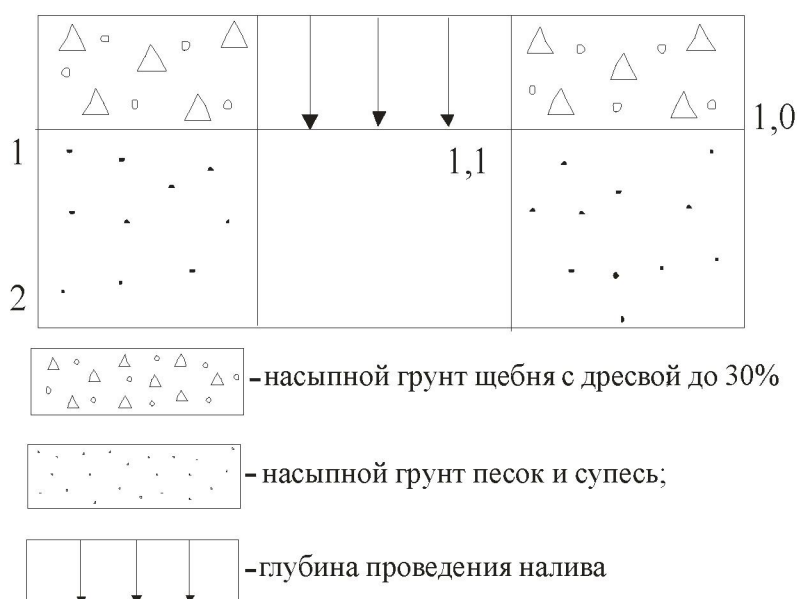


Рисунок 3 – Геолого-литологическая колонна шурфа

Результаты лабораторных исследований образцов грунта естественной ненарушенной структуры (рисунок 2) показали отсутствие характерных точек перегиба кривой компрессии (рисунок 4).

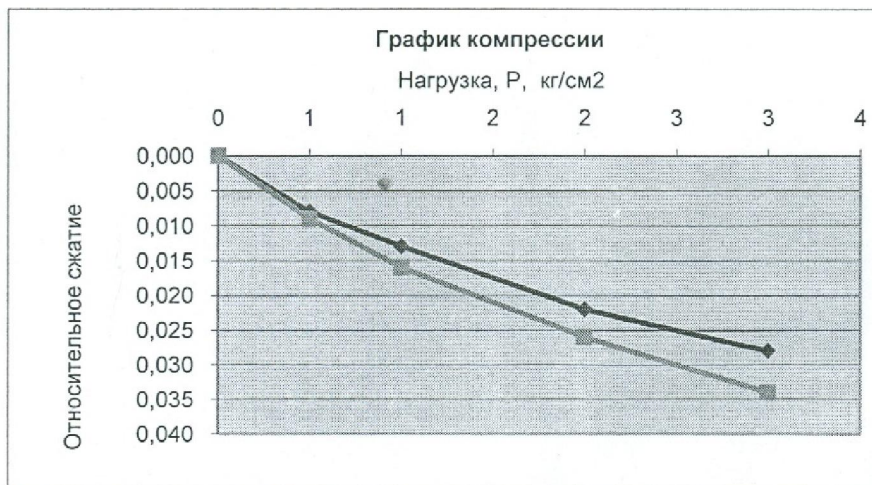


Рисунок 4 – Компрессионная кривая образца ненарушенной структуры шурфа № 1137, супесь твердая, возраст арQ

Величина капиллярного давления (H_k) определялась расчетами, исходя из формулы (7):

$$H_k = H_0 \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) . \tag{7}$$

В данном выражении α определяется зависимостью $\alpha f(\alpha_t, \mu)$ (8).

$$\alpha_t = t_1 / t_2 \tag{8}$$

и составляет – 0,35, время t_1 может быть любым с момента начала налива, но не слишком малым, при соблюдении условия, при котором градиент давления не должен превышать значения 2. Время t_2 должно соответствовать полной продолжительности опыта. Недостаток насыщения грунта определяется по результатам налива (9):

$$\mu = H_0 / h = 0,16 \tag{9}$$

Значение α снимается с графика (рисунок 5), приведенного в справочных пособиях [4], в рассматриваемом случае величина α составляет 0,4. Капиллярное давление соответственно $H_k = H_0 (1/\alpha - 1) = 1,5$.

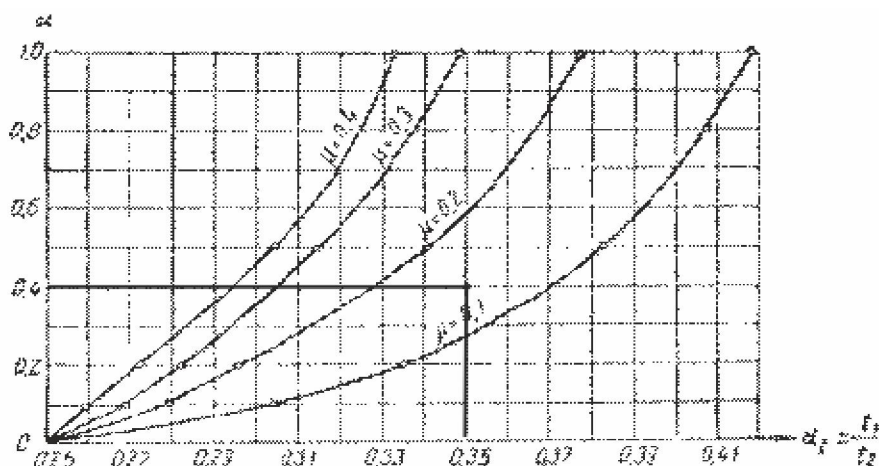


Рисунок 5 – График зависимости $\alpha = f(\alpha_t, \mu)$

Исходя из графика изменения фильтрационного расхода во времени (рисунок 6) установившийся расход составляет 0,024 л/мин.

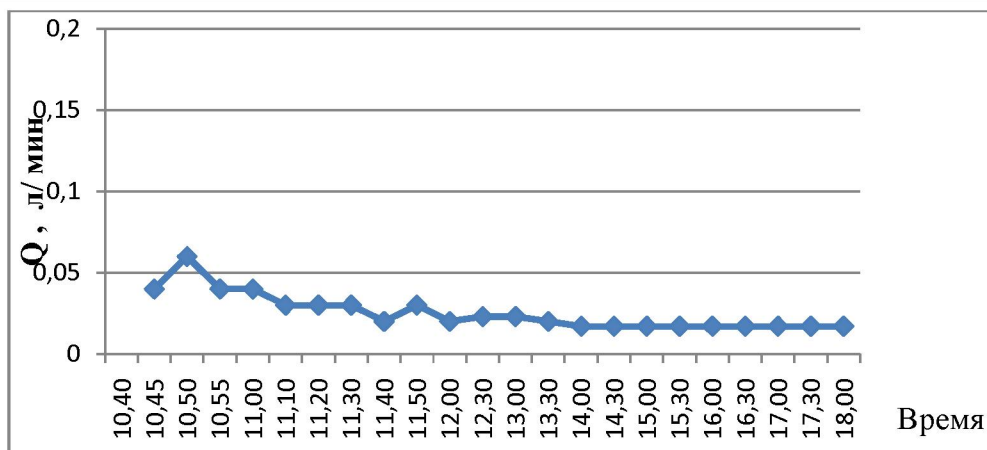


Рисунок 6 – График изменения фильтрационного расхода воды во времени

Согласно формуле (6) коэффициент фильтрации исследуемой дамбы имеет значение (10):

$$K = \frac{Qh}{F(H_0 + H_k + h)} = \frac{0,024 \cdot 0,6}{0,04(0,1 + 0,15 + 0,6)} = 0,42 \text{ м/сут} \quad (10)$$

Коэффициенты фильтрации песков в теле дамбы, по данным опытных наливов в шурфы, имеют следующие значения:

дамба водохранилища N 1 – 3,28 м/сут,

дамба водохранилища N 2 – 0,42 м/сут,

дамба водохранилища N 3 – 0,5–1,8 м/сут,

дамба пруда 1А – 1,44 м/сут,

дамба пруда 1Б – 0,42 м/сут.

В связи с тем, что коэффициенты фильтрации подстилающих пород низкие, изменения гидрогеологических условий на прилегающей к системе ПСК территории будет проходить в течение нескольких десятков лет.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидродинамика. – М.: Недра, 1993. – 413 с.
- [2] Цытович Н.А. Механика грунтов. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. – М., 1963. – 633 с.
- [3] Справочное руководство гидрогеолога. – Л.: Недра, 1967. – 591 с.
- [4] Веригин Н.Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. – М.: Государственное издательство по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. – 178 с.

REFERENCES

- [1] Basniev K.S., Kochin I.N., Maksimov V.M. Underground hydrodynamics. Moscow: Nedra, 1993. 413 p. (in Russ.).
- [2] Tsytovich N.A. Soil mechanics. State Publishing House for the construction, architecture and building materials. Moscow, 1963. 633 p. (in Russ.).
- [3] Reference Manual of hydrogeologist. Leningrad: Nedra, 1967. 591 p. (in Russ.).
- [4] Verigin N.N. Methods of determining the filtration properties mountain rocks. Moscow: State Publishing House for the construction, architecture and building materials, 1962. 178 p. (in Russ.).

ТӨМЕН ҚЫСЫМДЫ ГРУНТТАРДЫҢ ЖЕР БӨГЕТІН ФИЛЬТРЛЕУ МҮМКІНДІГІН АНЫҚТАУДЫҢ КЕЙБІР ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Е. Ж. Мұртазин, О. А. Калугин, С. М. Кан, В. Д. Вялов, О. В. Сульдина, Ш. Г. Курмангалиева

«У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: грунттар, фильтрлеу коэффициенті, шоғырлану, капиллярлық қысым, қысық компрес-сорлы.

Аннотация. Су бассейнінің гравитациялық нығыздануға ұшыраған, яғни кірігу өзара байланыспаған бөлшектері, грунт үшін капиллярлық қысымның эквивалентін анықтау әдістері мақалада қарастырылған. Табиғи бұзылмаған құрылымның грунт үлгілеріне зертханалық зерттеулер жүргізіліп, нәтижесінде майысу орнына тән қысық компрессияның жоқтығы көрсетілген. Капиллярлық қысымның көлемін анықтау үшін, Веригин Н.Н. еңбектерінде ұсынылған есеп айыру және графикалық әдістер қолданылған. Төмен қысымды жер бөгеті үшін фильтрлеу коэффициентінің мәні нақтыланған.

Поступила 07.04.2015 г.