

Гидротехническое строительство

УДК 502/504:627.82.034.93

В. Я. ЖАРНИЦКИЙ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА, УЛОЖЕННОГО В ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПЛОТИН

Коэффициент фильтрации уложенного грунта при геотехническом контроле является последним и наиболее значимым параметром, определяющим качество устраиваемого противофильтрационного элемента по водопроницаемости.

Противофильтрационные элементы: ядро, экран, понур, зуб; фильтрация и миграция воды; поровая вода; градиент напора; скелет грунта; коэффициент фильтрации; гравитационное движение воды; геотехнический контроль; эмпирическая зависимость; связанная вода; адсорбционная способность грунта; косвенные (оперативные) методы определения; статистический аспект надежности; квалификационные показатели (модули) грунтов.

Coefficient of filtration of the laid soil under the geo-technical control is the last and most significant parameter which determines the quality of the impervious element on water permeability.

Impervious elements: core, screen, apron, toe, water filtration and migration, pore water, pressure gradient, earth skeleton, coefficient of filtration, water gravitational movement, geotechnical control, empirical dependence, fixed water, soil absorbing capacity, indirect (operative) methods of determination, statistical aspect of reliability, soil qualification indicators (modules).

Для создания грунтовых противофильтрационных элементов в теле и основании плотины (ядер, экранов, понуров, зубьев) применяют глинистые (связные)

грунты, регламентируемые [1–3]. В производстве работ глинистый материал является наиболее сложным из-за низкой водопроницаемости, влияния погодных

условий, небольшого диапазона влажности, при которой грунт допускается к укладке в слой, условий залегания в карьере и пространственной изменчивости свойств в пределах карьера. Последний фактор – один из наиболее серьезно осложняющих контроль качества укладки глинистого грунта в насыпь.

Все грунты в большей или меньшей степени водопроницаемы. Вода проходит как через глинистые грунты, так и через щебенистые. Но в различных грунтах это явление имеет различную интенсивность. Движение воды в порах грунта может происходить в виде фильтрации, миграции и при консолидации [4].

Движения поровой воды, вызванные только факторами физико-химической природы, представляют собой миграцию влаги. К миграционным явлениям относятся перемещения влаги под влиянием капиллярных сил и градиента влажности грунта, осмотического давления, адсорбционных сил, разности температур, разности электрических потенциалов. Миграцией также является перемещение поровой воды к центрам ее испарения и перемещение к центрам кристаллизации, происходящее при промерзании грунта и образовании порового льда.

При консолидации процесс отжатия поровой воды отличается от миграции и фильтрации непрерывным уменьшением пористости до тех пор, пока скелет не уравнивает своим сопротивлением действующее на грунт сжимающее давление.

Фильтрация в грунте – это движение жидкости в пористой среде под действием сил механической природы. При этом вода рассматривается как несжимаемая ньютонова жидкость с определенной вязкостью, а скелет принимается неподвижным, пористость грунта в течение процесса фильтрации не меняется. Благодаря простоте феноменологической модели Дарси фильтрация количественно описывается одним показателем – коэффициентом фильтрации k_f , который представляет собой скорость фильтрации

при напорном градиенте, равном единице.

В практике геотехнического контроля при возведении грунтовых напорных сооружений, где глинистые грунты используются как строительный материал, приходится иметь дело с движением воды под влиянием силы тяжести, обусловленной разностью напоров, т. е. с фильтрацией воды и ее количественным показателем.

В глинистых грунтах в гравитационном движении воды не участвует не только площадь, занятая частицами, но и площадь, приходящаяся на оболочки связанной воды. При одних и тех же значениях градиента напора и вязкости воды водопроницаемость зависит от размера и характера пор, через которые движется вода [4]. Глинистые грунты, несмотря на свою высокую пористость в естественном сложении, с точки зрения гравитационного движения воды являются слабопроницаемыми, так как значительная часть воды присутствует в них в виде связанной или иммобилизованной. Поры (узкие проходы между частицами) глинистого грунта заполнены связанной водой, зацемяющей в более крупных порах свободную воду, образуя как бы пробки, которые препятствуют возникновению фильтрации. И только при достижении некоторой разности напора преодолевается внутреннее сопротивление глинистого грунта движению воды и начинается фильтрация.

Коэффициент фильтрации уложенного грунта при геотехническом контроле – последний и наиболее значимый параметр, определяющий качество устраиваемого противофильтрационного элемента по водопроницаемости. Согласно таблице 17 «РД 34 15.073–91», определение показателя водопроницаемости, как и физико-механических свойств уложенного грунта, выполняется из следующего расчета: одна проба на 20...50 тыс. м³ уложенного грунта. Для каждого проекта рассчитывается с учетом природно-климатических условий местонахождения объекта, класса сооружения и объема работ.

В зависимости от применяемых приборов лабораторные определения водопроницаемости грунтов могут быть разделены на две группы: первая группа – это приборы, в которых коэффициент фильтрации определяется без учета влияния нагрузки, вторая – приборы, которые позволяют учесть влияние нагрузки (компрессионно-фильтрационные). Компрессионно-фильтрационные приборы наиболее часто применяют при исследовании глинистых грунтов, для которых необходимо определять степень воздействия изменений плотности на фильтрационные свойства. В производственных условиях для конкретного уложенного в насыпь слоя глинистого грунта испытания водопроницаемости монолитных образцов наиболее просто, надежно и с достаточной для практических целей точностью целесообразно осуществлять по известной схеме испытания на фильтрационной установке, позволяющей определять коэффициент фильтрации без учета влияния нагрузки, при неизменном в процессе испытания объеме образца и при постоянном напорном градиенте [5].

На основании опытных данных коэффициент фильтрации вычисляют по следующей зависимости [5]:

$$k_f = [Q/ATI]\tau = [QL/AT(h + L)]\tau, \text{ см/с (1)}$$

где k_f – коэффициент фильтрации при температуре 10 °С; Q – объем профильтровавшейся воды; T – продолжительность испытания; A – площадь поперечного сечения образца; I – градиент напора; L – высота образца грунта; h – высота напорного слоя воды; $\tau = \tau_{10}/\tau_i$ – температурная поправка (здесь: τ_{10} – температурная поправка, соответствующая температуре воды, к которой приводится коэффициент фильтрации; $\tau_i = (0,7 + 0,03t)$ – поправка, соответствующая температуре t , при которой проводился эксперимент).

Пространственная изменчивость свойств грунтов в карьере, одновременная укладка глинистого материала в технологические карты из разных карьеров предполагают возможность отклонения в параметрах укладки, но не допускают при этом возможности превышения геотехнического параметра водопроницаемости уложенного грунта от проектного. Использование только

прямых (экспериментальных) методов для сравнительной оценки фильтрационной способности уложенного грунта в каждом подобном случае ведет к недопустимым и неоправданным перерывам в строительстве плотины. В такой ситуации необходимо иметь инструмент или метод оперативной (ускоренной) оценки показателя водопроницаемости, позволяющий независимо от выполненного объема уложенного грунта проверить соответствие получаемого коэффициента фильтрации проектным требованиям по каждой пробе, по которой устанавливается качество выполненного уплотнения грунта в слое.

На стадии проектирования коэффициент фильтрации глинистых грунтов в противофильтрационных элементах плотин может приниматься по рекомендациям [6] с последующим уточнением по результатам опытных укуток в начале строительства. Кроме того, предварительная оценка водопроницаемости связных грунтов может быть выполнена по эмпирической зависимости В. Н. Жиленкова [3]:

$$k_{f<1} = 4 \cdot 10^{-11} \exp[e/(0,17 \cdot e_L - 0,048)], \text{ см/с (2)}$$

где e – коэффициент пористости фракций менее 1мм; $e_L = 1,06 \cdot (\rho_{s<1}/\rho_w) \cdot W_L$ – коэффициент пористости при влажности грунта на пределе текучести (здесь: 1,06 – поправка на содержание воздуха; ρ_w – плотность воды).

Однако решение В. Н. Жиленкова правомерно, если в составе глинистого грунта частиц диаметром менее 1 мм содержится более 35...40 %. Если учесть, что в последнее время для устройства противофильтрационных элементов плотин все чаще используются «скелетные грунты» («Нурекская» – 300 м (СССР); «Оровилл» – 236 м (США); «Гешенеральп» – 155 м (Швейцария); «Гепач» – 153 м (Австрия); «Серр-Понсон» – 130 м (Франция); «Сахаби» – 68 м (САР); «Эль Хвез» – 42 м (САР) и др.), где содержание фракций менее 1мм не превышает вышеуказанного предела, то применение зависимости (2) даже для предварительной оценки водопроницаемости вызывает вопрос.

Глинистый грунт, уложенный в противофильтрационные элементы плотины (коэффициент уплотнения $k_{\text{com}} = 96 \dots 103 \%$), представляет собой плотную массу, в которой поры заполнены физически связанной водой. Чем больше связанной воды в грунте, тем меньше его водопроницаемость. Количество связанной воды зависит от величины удельной поверхности и минералогического состава глинистого грунта или, по-другому, от интенсивности адсорбционной способности грунта. Следовательно, коэффициент фильтрации уложенного в насыпь грунта будет определяться степенью его уплотненности, механическим составом и глинистостью.

Для геотехнического контроля, как и для инженерно-геологических прогнозов, особенно важным и рациональным при определении строительных параметров грунтов является принцип косвенной их оценки по основным физическим характеристикам с помощью несложных математических зависимостей, позволяющих при необходимости быстро оценивать влияние на результат изменения показателей грунтов, входящих в эти формулы.

Грунты, как известно, относятся к системам, где взаимное влияние факторов велико (В. В. Налимов, 1971). Поэтому задача исследования возможности разработки тех или иных распределений для описания важнейшего свойства грунтов – их изменчивости – может иметь два пути:

теоретическое обоснование типа распределения с позиции физической сущности модели грунта, в описании которой используется рассматриваемый показатель;

перебор статистических моделей и оценка каждой из них с точки зрения соответствия опытным данным по рассматриваемому показателю.

Конечно, принципиально предпочтительнее первый подход. Однако из-за отсутствия к настоящему времени удовлетворительного теоретического обосно-

вания распределения показателей свойств грунтов его реализация затруднена. Поэтому разработка косвенных (оперативных) методов определения контролируемых показателей свойств грунтов выполняется в рамках второго подхода, где статистический аспект надежности выдвигается на передний план.

Важнейшее условие выполнения этапа – правильная оценка свойств грунтов, которые предназначаются в качестве индикационных при определении устанавливаемых параметров, необходимых для геотехнического контроля. С одной стороны, устанавливаемые строительные показатели характеризуют грунт при строго фиксируемых условиях, например, при данном составе, плотности, влажности и др. С другой стороны, они зависят от фациальных и генетических особенностей грунта. Следовательно, индикационные показатели свойств грунта в значительной степени достоверно должны характеризовать интересующие нас строительные параметры. Такие связи могут быть функциональными, поскольку устанавливаемые показатели зависят от множества факторов, некоторые из них пока не поддаются количественному учету (например, прочность структурных связей или содержание минералов той или иной группы и т.д.). Тем не менее, можно установить ряд квалификационных показателей (модулей) грунтов, представляющих собой совокупность индикационных показателей, имеющих корреляционную связь с устанавливаемыми строительными параметрами. Тогда первые будут являться факторами признака, а вторые – факторами результата.

Изучение и установление корреляционных связей для оперативного определения строительных показателей грунтов сводится к решению следующих задач:

изучить однородность представленных данных с целью применения предлагаемого метода (проверка

условия однородности, условий применения используемых в математическом обеспечении теорем);

определить наиболее точную модель зависимости строительных параметров грунтов от принятых вариантов их комплексных (квалификационных) показателей, зависящих от значений выборок;

установить тесноту связи между значениями, полученными предлагаемым методом оперативного определения геотехнического показателя грунта, и результатами стандартного инструментального метода.

Результаты экспериментального исследования водопроницаемости образцов уплотненного глинистого грунта с фиксированным содержанием частиц менее 5 мм ($m_{<5 \text{ мм}}$), которые вырезались из монолитов, доставляемых из технологических карт реальных возводимых грунтовых плотин, либо приготавливались при оптимальной плотности – влажности, позволили установить квалификационные показатели грунтов, имеющие корреляционную связь с показателем водопроницаемости.

При исследовании корреляции между коэффициентом фильтрации k_f и принятыми к изучению квалификационными показателями $e/(m_{<5} \cdot W_L)$ и $e/(m_{<5} \cdot e_L)$ глинистого грунта четвертичного возраста (al; dl; el) модуль $e/(m_{<5} \cdot W_L)$ показал лучшие результаты по связи (коэффициент детерминации – 0,980) с показателем водопроницаемости k_f , которая аппроксимируется следующим уравнением (рис. 1): $k_f = 0,574 \cdot [e/(m_{<5} \cdot W_L)]^{3,22} \cdot 10^{-7}$, см/с (3) где e – коэффициент пористости уплотненного в насыпи грунта ($e = \rho_s/\rho_d - 1$); $m_{<5}$ – содержание в пробе грунта частиц размером менее 5 мм, отн. ед.; W_L – верхний предел пластичности, отн. ед.

Установленный квалификационный показатель $e/(m_{<5} \cdot W_L)$ является многофакторным критерием состояния глинистого грунта, объективно отражающим физическую сущность его водопроницаемости в технологическом слое: при одной и той же степени уплотнения и

одинаковом механическом составе глинистых грунтов меньшей водопроницаемостью, что соответствует уменьшению показателя $e/(m_{<5} \cdot W_L)$ обладают те, которые имеют большую глинистость. Это делает его удобным для использования при текущем геотехническом контроле.

Полученная зависимость по оперативному определению показателя водопроницаемости уплотненного глинистого материала находит подтверждение в данных сравнения с результатами лабораторных экспериментов: максимальная относительная погрешность в результатах сравнения не превышает 12,7 % (рис. 2).

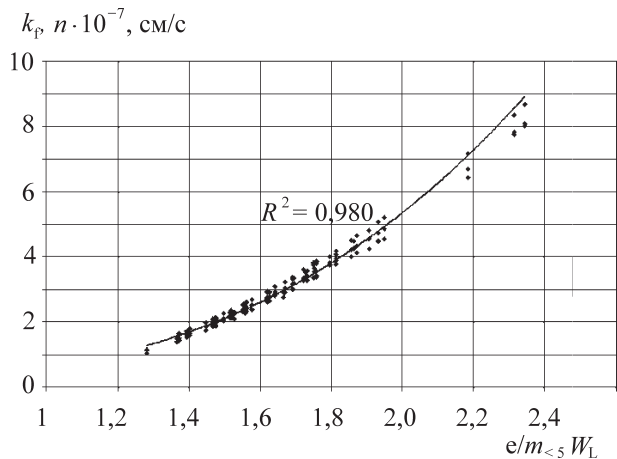


Рис. 1. Зависимость $k_f = f[e/(m_{<5} \cdot W_L)]$

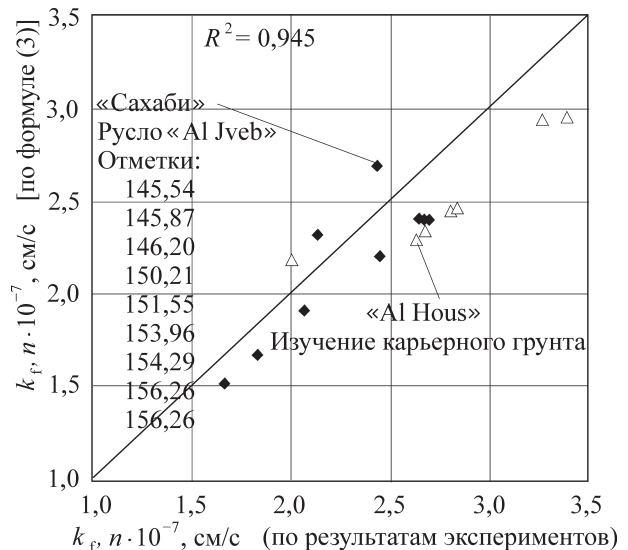


Рис. 2. Сопоставление значений коэффициента фильтрации по результатам экспериментов и формуле (3)

Выводы

Таким образом, имея параметры уплотнения грунта в насыпи, уточнив (при необходимости) значения ρ_s и W_L , содержание частиц размером менее 5 мм, используя уравнение (3), можно с достаточной для практических задач геотехнического контроля точностью получить коэффициент фильтрации уплотненного глинистого грунта.

1. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве: РД 34.15.073 91. – Л.: ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева, 1991. – 436 с.

2. Плотины из грунтовых материалов: СНиП 22.06.05–84. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 32 с.

3. **Жарницкий В. Я.** Обеспечение качества и надежности каменно-земляных

плотин при строительстве. – Иваново: Изд-во ИГЭУ имени В. И. Ленина, 2005. – 156 с.

4. **Приклонский В. А.** Грунтоведение. – М.: Государственное науч.-техн. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1955. – Ч. 1. – 430 с.

5. Руководство по лабораторным геотехническим исследованиям грунтов. – М.: Ротапринт ВНИИГиМ, 1975. – 190 с.

6. Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов / Раздел «Назначение расчетных характеристик материалов грунтовых плотин». – М.: ВНИИВОДГЕО, 1982. – 101 с.

Материал поступил в редакцию 16.04.10.
Жарницкий Валерий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты»

Тел. 8 (495) 976-48-06

E-mail: zharnitskiy@msuee.ru

УДК 502/504:627.83

А. П. ГУРЬЕВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТВОЛА ШАХТНОГО ВОДОСБРОСА ПОЛИГОНАЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ БАШЕННОГО ТИПА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Статья посвящена определению размеров поперечного сечения ствола шахтного водосброса при сейсмическом воздействии.

Шахтный водосброс, сейсмическое воздействие, балльность землетрясения, поперечное сечение ствола шахты.

The article considers determination of parameters of the spillway shaft of polygonal cross-section of tower type under seismic action.

Shaft spillway, seismic action, balls of earthquake, cross-section of the spillway shaft.

Одной из основных задач проектирования шахтных водосбросов является назначение размеров несущих конструкций, обеспечивающих в соответствии со СНиП 33-01-2003 надежность и безопас-

ность работы всего сооружения, с одной стороны, и экономичности технического решения, с другой [1]. Однако в существующей учебно-методической, справочной и нормативной литературе отсутствуют