

ятностью $P_{\bar{p}} = 98,3 \%$), а коэффициент допустимого снижения этого показателя $\sigma_0 = 0,033$.

Таким образом, высокая эксплуатационная надежность оросительных каналов будет обеспечиваться при выполнении вышеуказанных критериев надежности, включающих как гидравлические, так и комплексные показатели работы канала с учетом предлагаемых коэффициентов допустимого снижения нормативных показателей, изменяющихся в пределах 0,013...0,066.

Ключевые слова: оросительные каналы, критерии эксплуатационной надежности, коэффициенты допустимого снижения показателей.

УДК 502/504:624.131.1:626/627

В.Я. Жарницкий, доктор техн. наук

Н.Ф. Жарницкая, инженер

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

ОПЕРАТИВНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА, УЛОЖЕННОГО В ТЕЛО ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛОТИН

Коэффициент фильтрации уложенного с уплотнением глинистого грунта является последним и наиболее значимым контролируемым параметром, определяющим качество устраиваемого противофильтрационного элемента. Поэтому вооруженность персонала службы геотехнического контроля современными оперативными методами определения этого показателя приобретает особое значение.

The hydraulic conductivity lied dawn with compaction of the clay earth is awfully important criteria which definite the quality of dam screen as to permeability. So personnel of Service of the geotechnical control must be provided with the current, swift and shelter methods of quality control in activity. And this post has distinctive meaning.

Строительство плотин из грунтовых материалов получило широкое развитие и распространено во всем мире, хотя аварии и разрушения таких плотин происходят несмотря на значительные достижения техники, совершенствование технологий строительства, повышение общего уровня знаний, опыта и технических решений. В решении задачи по обеспечению надежности, долговечности и эксплуатационной безопасности напорных грунтовых сооружений одну из главных ролей играет этап строительства плотин.

В этой связи обеспечение персонала службы геотехнического контроля современными, оперативными и надежными методами и техническими приемами контроля качества работ приобретает большое

Список литературы

1. **Щедрин, В. Н.** Эксплуатационная надежность оросительных систем [Текст] / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 392 с.
2. **Мирцхулава, Ц. Е.** О надежности крупных каналов [Текст] / Ц. Е. Мирцхулава. – М. : Колос, 1981. – 318 с.
3. **Мирцхулава, Ц. Е.** Надежность систем осушения [Текст] / Ц. Е. Мирцхулава. – М. : Агропромиздат, 1985. – 239 с.
4. **Косиченко, Ю. М.** Эксплуатационная надежность оросительных каналов [Текст] / Ю. М. Косиченко, М. Ю. Косиченко, Ю. И. Иовчу // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 49–50.

значение. Это особенно актуально, если строительство напорных грунтовых сооружений ведется с укладкой нескольких видов грунтов одновременно, с изменчивостью свойств карьерного грунта. В таких условиях только формальное выполнение проектных требований геотехнического контроля в зависимости от объема уложенного грунта прямыми экспериментальными методами приводит к снижению темпов работ из-за неоперативности в оценке качества уплотнения, к большому количеству переделок и, как следствие, к удорожанию строительства.

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 его свойств в пределах карьера. Причем последний фактор серьезно осложняет контроль качества укладки глинистого грунта в противофильтрационные элементы плотин.

В практике геотехнического контроля при возведении напорных грунтовых 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 при 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 [1, 2]. 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, заземляющей 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 с уплотнением грунта является последним и наиболее значимым параметром, определяющим качество устраиваемого ядра или экрана по водопроницаемости. Согласно РД 3415.073–91, показатель водопроницаемости и физико-механических свойств уложенного с уплотнением грунта определяют из следующего расчета: одна проба на 20...50 тыс. м³ уложенного грунта (для каждого проекта рассчитывают свой показатель, который зависит от конкретных природно-климатических условий местонахождения объекта, класса сооружения и объема работ) [3]. В производственных условиях для уложенного с уплотнением в технологических картах глинистого материала коэф-

фициент фильтрации определяют на образцах-монолитах без учета влияния нагрузки при неизменном в процессе испытания объеме каждого образца и постоянном напорном градиенте.

При одновременной укладке глинистого материала из разных карьеров в технологические карты возможны отклонения в параметрах укладки, но превышения геотехнического параметра водопроницаемости уложенного грунта от проектного происходить не должно. Использование только прямых (экспериментальных) методов для сравнительной оценки фильтрационной способности уложенного грунта в каждом подобном случае неотвратимо ведет к недопустимым и неоправданным перерывам в строительстве плотины. В таких ситуациях 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 устанавливают качество выполненного уплотнения грунта в слое.

На стадии проектирования коэффициент фильтрации глинистых грунтов в противофильтрационных элементах плотин можно принимать по рекомендациям [4, 5] с последующим уточнением по результатам опытных укаток в начале строительства. Кроме того, предварительная оценка водопроницаемости связных грунтов может быть выполнена по эмпирической зависимости В.Н. Жиленкова [6]:

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

где e — коэффициент пористости фракций менее 1 мм; $e_L = 1,06 \cdot (\rho_{s<1} / \rho_w) \cdot W_L$ — 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 частиц диаметром менее 1 мм в составе глинистого грунта содержится более 35...40 %. Поскольку в последнее время для устройства противофильтрационных элементов плотин все чаще используют «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 1 мм

не превышает вышеуказанного предела, то применение зависимости (1) даже для предварительной оценки водопроницаемости становится проблематичным.

Глинистый грунт, уложенный в противодиффузионные элементы плотин с коэффициентом уплотнения $k_{\text{com}} \geq 96\%$, представляет собой однородную плотную массу, в которой поры заполнены физически связанной водой. Чем больше связанной воды в грунте, тем меньше их водопроницаемость. Количество связанной воды зависит от величины удельной поверхности и минерального состава глинистого грунта, или интенсивности адсорбционной способности глинистого материала. Следовательно, коэффициент фильтрации уложенного в насыпь грунта будет определяться степенью его уплотненности, механическим составом и глинистостью.

В геотехническом контроле особенно значимым 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 относятся к природным образованиям, у которых взаимное влияние факторов велико (В.В. Налимов, 1971). Поэтому задача исследования возможности разработки тех или иных распределений для описания такого важнейшего свойства грунтов, как их изменчивость, 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.

Предпочтителен первый подход. Однако к настоящему времени удовлетворительное теоретическое обоснование распределения показателей свойств грунтов отсутствует, поэтому разработку оперативных методов определения контролируемых показателей свойств грунтов целесообразно выполнять в рамках второго подхода, где статистический аспект надежности выдвигается на передний план.

Важнейшим условием выполнения данного этапа является правильная оценка свойств грунтов, которые должны использоваться в качестве индикационных. С одной стороны, контролируемые 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, поэтому индикационные показатели грунта должны достоверно характеризовать контролируемый строительный параметр. Такие связи могут быть функциональными, поскольку устанавливаемые показатели зависят от множества факторов, часть которых пока не поддается количественному учету (например, прочность структурных связей или содержание минералов той или иной группы и т. п.). Тем не менее, представляется возможным установить ряд квалификационных показателей грунтов, представляющих собой совокупность индикационных показателей, объединенных в один модуль в определенной комбинации и имеющих корреляционную связь с определяемым строительным параметром (в нашем случае с коэффициентом фильтрации уплотненного глинистого грунта).

При исследовании корреляции между коэффициентом фильтрации k_f и принятыми к изучению квалификационными показателями $e/(m_{<5} \cdot W_L)$ и $e/(m_{<5} \cdot e_L)$ для глинистых грунтов 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 уравнением следующего вида (рис. 1):

$$k_f = 0,574 \cdot [e/(m_{<5} \cdot W_L)]^{3,22} \cdot 10^{-7}, \quad (2)$$

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 уплотненности и одинаковом механическом составе глинистых грунтов меньшей водопроницаемостью, что соответ-

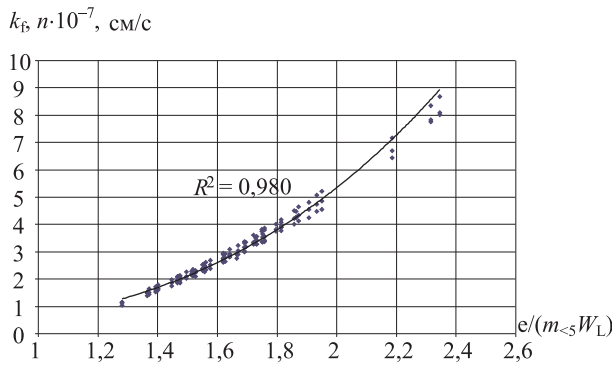


Рис. 1. Зависимость $k_f = f[e/(m_{<5>} \cdot W_L)]$

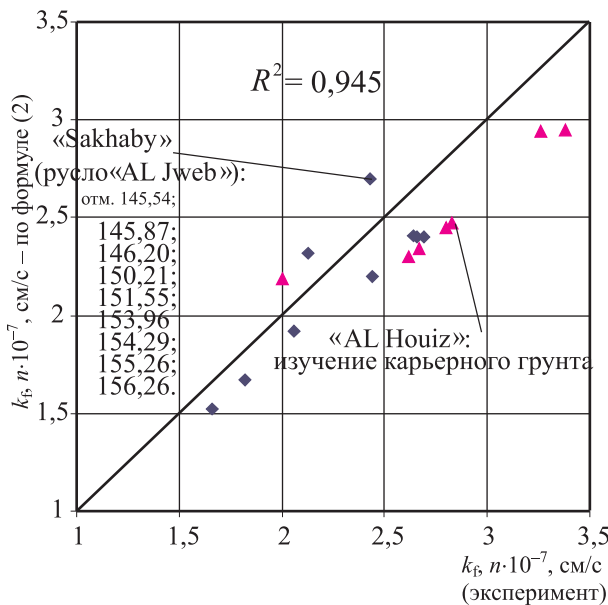


Рис. 2. Сопоставление значений коэффициента фильтрации уплотненного глинистого грунта по результатам экспериментов и оперативного определения

ствуует уменьшению показателя $e/(m_{<5>} \cdot W_L)$, обладают те, которые имеют большую глинистость. Квалификационный показатель $e/(m_{<5>} \cdot W_L)$ удобен для использования при текущем геотехническом контроле.

Полученная зависимость по оперативному определению показателя водопроницаемости уплотненного глинистого грунта четвертичного возраста *al, dl, el* с числом пластичности 12...35 % и плотностью час-

тиц 2,67...2,75 г/см³ находит подтверждение в данных сравнения с результатами лабораторных экспериментов: относительная погрешность в результатах сравнения не превышает 12,7 % (рис. 2).

Выводы

Возможность использования этого метода как для «чистых» глинистых грунтов, так и для грунтовых смесей, оперативность и точность определения показателя водопроницаемости подтверждается сертификатом, выданным по результатам проверки и опробования в реальных технологических картах устраиваемых напорных грунтовых сооружений.

Ключевые слова: оперативный контроль, ядро плотины, коэффициент фильтрации, противofильтрационный элемент, показатель водопроницаемости, геотехнический контроль, глинистый грунт.

Список литературы

1. Иванов, П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений [Текст] / П. Л. Иванов. – М. : Высшая школа, 1985. – 352 с.
2. Приклонский, В. А. Грунтоведение [Текст] / В. А. Приклонский. – Ч. 1. – Изд. 3, перераб. и доп. – М. : Государственное научнотехн. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1955. – 430 с.
3. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве [Текст]. РД 34.15.073 91. – Л. : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1991. – 436 с.
4. Рекомендации по расчету обратных фильтров плотин из грунтовых материалов с глинистым противofильтрационным устройством и однородных плотин из супесчаных грунтов с $I_p = 3...5$ %. – М. : ВНИИ ВОДГЕО, 1977. – 57 с.
5. Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов [Текст]. – М. : ВНИИ ВОДГЕО, 1982. – 101 с.
6. Гольдин, А. Л. Проектирование грунтовых плотин [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Л. Гольдин, Л. Н. Рассказов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.