

УДК 502/504:627.82.034.93

В. Я. ЖАРНИЦКИЙ, А. М. СИЛКИН

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

Н. Ф. ЖАРНИЦКАЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

Объясняется, что формальное выполнение проектных требований по укладке грунтовых материалов в тело плотины в зависимости от объема уложенного грунта, средних показателей карьерного грунта, минимально допустимых параметров укладки, взаимоисключающих условий уплотнения создает ложное представление о качестве грунта, уложенного в тело плотины.

Грунтовая плотина, надежность и долговечность, горная масса, ядро, экран, коэффициент (степень) уплотнения, транзитные зоны, гранулометрический состав, параметры Проктора, коэффициент разнотерности, геотехнический контроль.

It is explained that formal fulfillment of design requirements on putting soil materials into the dam body depending on the volume of the laid soil, average indices of the borrow pit ground, minimal permissive parameters of laying, mutually exclusive conditions of sealing gives a misconception about the soil quality laid in the dam body.

Ground dam, reliability and durability, mining mass, diaphragm, membrane, coefficient (degree) of consolidation, transit zones, grain-size composition, Proctor parameters, coefficient of diversigranularity, geo-technical control.

Вопросы обеспечения безопасной эксплуатации грунтовых плотин, уже построенных и строящихся, рассмотрены во многих научных трудах, направленных на создание надежных и долговечных гидротехнических сооружений, но по-прежнему беспокоят гидротехников разных стран.

Строительство грунтовых напорных сооружений связано с выполнением большого объема земляных работ. Аварии, повреждения и разрушения таких сооружений в процессе строительства и во время эксплуатации могут приводить к катастрофическим последствиям. Поэтому к созданию грунтовых гидротехнических сооружений предъявляются особые требования в части надежности и долговечности не только на стадии проектирования, но и в период их строительства.

Важнейшим условием обеспечения эксплуатационной надежности и долго-

вечности грунтовых напорных сооружений является строгое соблюдение всех требований и решений проекта по их возведению с соблюдением нормативных положений на выполнение таких работ. Необходимая и объективная оценка характеристик грунтов в основании сооружений, в карьерах добычи материалов, при укладке в грунтовые элементы плотин возможна при условии вооруженности персонала службы геотехнического контроля современными и надежными методами и приемами контроля качества работ.

При недостаточном уплотнении, например горной массы в верховой упорной призме плотины с вертикальным противифльтрационным устройством в виде ядра, имеет место асимметрия напряженно-деформированного состояния за счет двойного эффекта – гидростатического давления на ядро, а вследствие этого обжатия низовой упорной призмы, и взвешивания

грунта верховой упорной призмы. Разгрузка скелета верховой упорной призмы делает верховой откос и ядро менее устойчивыми к сейсмическому воздействию. Недостаточное уплотнение низовой упорной призмы плотины с наклонным противофильтрационным устройством приводит к деформации самой упорной призмы и, как следствие, к трещинообразованию в ядре или на экране.

При устройстве противофильтрационных элементов плотин очень важно, чтобы параметры укладки, в частности параметры Проктора, отвечали конкретному виду и составу глинистого материала, поступившего в технологические карты. При укладке глинистых грунтов с влажностью меньше оптимальной частицы такого «сухого» грунта из-за сил трения и сцепления оказывают большое сопротивление их уплотнению. А при влажности грунта больше оптимальной возникает кратковременное поровое давление, которое также препятствует уплотнению грунта. Недостаточно уплотненный глинистый грунт в противофильтрационном устройстве может явиться причиной развития высокого порового давления, что приводит к разгрузке скелета грунта, к уменьшению эффективных вертикальных напряжений. В такой ситуации даже незначительные касательные напряжения могут вызвать деформацию или разрушение противофильтрационного элемента.

Формальное выполнение проектных требований по укладке грунтовых материалов в тело плотины в зависимости от объема уложенного грунта и средним показателям карьерного грунта, по минимально допустимым параметрам укладки или взаимоисключающим условиям уплотнения, когда указывается необходимая степень уплотнения грунта k_{com} , с одной стороны, и тут же, с другой стороны, допускается минимально допустимое значение плотности грунта в каких-то «отдельных случаях», без всяких ссылок на изменчивость свойств грунтового материала – все это создает ложное представление о качестве выполненного уплотнения и дает возможность подрядчикам работ уходить от ответственности за строительство. Главное – нет однозначности в оценке качества выполненного уплотнения и в

выходных показателях грунта после укатки. Результат – приостановление работ на объекте, переделка, снижение темпов и удорожание строительства. Подтверждением сказанному могут быть следующие примеры.

Плотина «Саура» (Сирия) на реке Сноубар каменно-земляная, высота 78 м (рис. 1, 2).

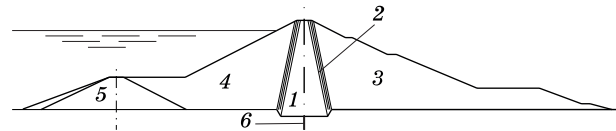


Рис. 1. Плотина «Саура»: 1 – ядро; 2 – транзитные зоны; 3 – низовая упорная призма; 4 – верховая упорная призма; 5 – перемычка; 6 – противофильтрационная завеса

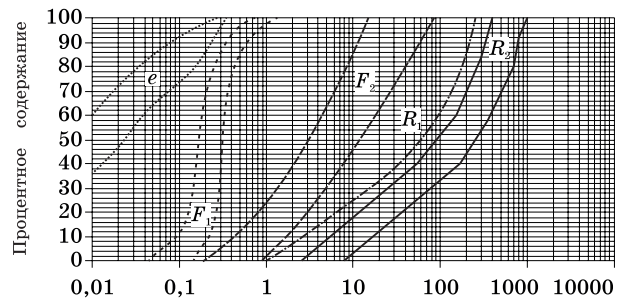


Рис. 2. Гранулометрические составы грунтовых материалов для плотины «Саура»

Для устройства ядра плотины принят аллювиальный ($I_p = 17,5...21 \%$), делювиальный ($I_p = 17...32 \%$) и элювиальный ($I_p = 18,5...28 \%$) глинистый материал [1, 2]. С одной стороны, в проекте указано, что при укладке этого грунта в тело ядра значение плотности сухого грунта не должно быть ниже $1,55 \text{ т/м}^3$, влажность – $W_{opt} \pm 2 \%$. С другой стороны, констатируется, что при степени уплотнения грунта $k_{com} \geq 0,97$ уложенный материал должен иметь коэффициент фильтрации меньше $1 \times 10^{-6} \text{ см/с}$, показатели прочности $\varphi > 15^\circ$; $C > 20 \text{ кПа}$. Формальное выполнение условия укладки по допустимой плотности сухого грунта для глинистого материала с числом пластичности, например $I_p = 17 \%$, будет соответствовать его недоуплотнению от требуемого предела степени уплотнения 97% , что для такого грунта составит $1,64...1,65 \text{ т/м}^3$. Для глинистого грунта с числом пластичности $I_p = 32 \%$ плотность

сухого грунта, соответствующая степени уплотнения 97 % от параметра Проктора ρ_{dmax} , будет меньше $1,55 \text{ т/м}^3$ и составит приблизительно $1,49...1,50 \text{ т/м}^3$. Поэтому, чтобы уйти от неоднозначности в требованиях к укладке материала и избежать его недоуплотнения в слое, оценку качества работ необходимо выполнять по степени уплотнения с уточнением индивидуальных особенностей глинистого грунта.

Транзитные зоны R_1 и упорные призмы R_2 плотины должны возводиться послойной укладкой горной массы из известняков, имеющих прочность на одноосное сжатие $R_c = 50\,000...90\,000 \text{ кПа}$, и доломитов ($R_c = 60\,000...160\,000 \text{ кПа}$) [1, 2]. Требованиями проекта по укладке каменного материала предусмотрено соблюдение гранулометрического состава и плотности сухого грунта после укатки не менее $1,76 \text{ т/м}^3$ (см. рис. 2). Формальный подход к допустимой плотности уплотнения горной массы является не только недостаточным для проектного гранулометрического состава материала, но и предполагает устройство этих грунтовых элементов плотины с недоуплотнением. Коэффициент разнозернистости горной массы для упорных призм составляет $k_{60,10} = 22...26,7$, для транзитной зоны – $k_{60,10} = 26,7...33,3$ (см. рис. 2). Даже для каменного материала с коэффициентом разнозернистости $k_{60,10} = 22$ максимальная плотность скелета в насыпи после уплотнения может быть достигнута $1,96 \text{ т/м}^3$. При проектной степени уплотнения $k_{com} = 97\%$ эта плотность будет не меньше $1,90 \text{ т/м}^3$. Однако в технологические карты горная масса может поступать с коэффициентом разнозернистости и 26, и 33. Поэтому, чтобы избежать недоуплотнения каменного материала в слое, оценку качества работ следует проводить по степени уплотнения горной массы с уточнением индивидуальных особенностей ее гранулометрического состава.

Плотина «Абраш» (Сирия) на реке Абраш каменно-земляная, высотой 50 м (рис. 3, 4). Для устройства ядра плотины и перемычки принят аллювиально-делювиальный глинистый грунт с числом пластичности $I_p = 15,5...58\%$ [1, 3]. Согласно требованиям проекта, при укладке

глинистого материала в тело ядра значение плотности сухого грунта должно быть более $1,50 \text{ т/м}^3$, влажность – $26,5 \pm 2\%$. Уложенный таким образом материал будет иметь коэффициент фильтрации менее 10^{-5} см/с , показатели прочности $\varphi \geq 17^\circ$; $C \geq 26 \text{ кПа}$ при коэффициенте (степени) уплотнения грунта в слое не менее 96 %. При такой вариации числа пластичности глинистого материала использование средних показателей укладки карьерного грунта для контроля качества работ невозможно. Плотность сухого грунта, соответствующая 96 % от параметра Проктора для глинистого материала, например с $I_p = 15,5\%$, составит $1,64 \text{ т/м}^3$, а для грунта с $I_p = 58\%$ – $1,25 \text{ т/м}^3$. Чтобы избежать недоуплотнения грунта в слое, оценку качества работ необходимо проводить по степени уплотнения с уточнением индивидуальных особенностей глинистого материала, поступившего в технологические карты.

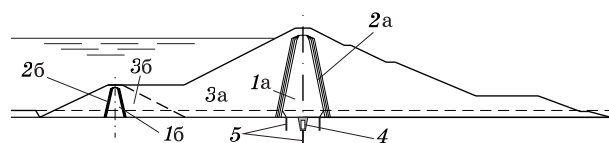


Рис. 3. Плотина «Абраш»: 1а и 1б – ядро плотины и перемычки; 2а и 2б – транзитные зоны плотины и перемычки; 3а и 3б – упорные призмы плотины и перемычки; 4 – галерея; 5 – противофильтрационная завеса

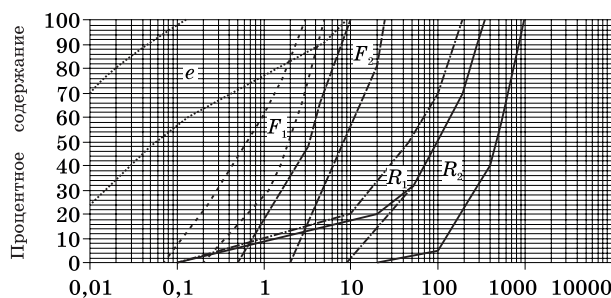


Рис. 4. Гранулометрические составы грунтовых материалов для плотины «Абраш»

Для устройства транзитных зон R_1 и упорных призм плотины R_2 предложена горная масса из известняка, имеющего прочность на одноосное сжатие $25\,000...80\,000 \text{ кПа}$ и $80\,000...120\,000 \text{ кПа}$ (для доломитизированного). Требованиями проекта

по укладке каменного материала предусмотрено соблюдение гранулометрического состава и плотности сухого грунта после укатки не менее $1,85 \text{ т/м}^3$ (см. рис. 4) [1, 3]. Соблюдение формальных требований к укатке горной массы по минимально допустимой плотности в такой ситуации является недопустимым. Коэффициент разноразности для нижнего предела указанных материалов не превышает 10, а для верхнего – более 70...80. При таком большом диапазоне изменений коэффициента разноразности грунта нет необходимости в назначении минимально допустимой плотности укатки грунта. Чем больше разноразность грунта, тем большая плотность его в насыпи может быть достигнута. Оценку качества работ необходимо выполнять по степени уплотнения при уточнении индивидуальных качеств грансостава горной массы.

Плотина «Сахаби» (Сирия) каменно-земляная, высота 68 м, перекрывает русла рек Бейт Яшут и Эль Джвеб (рис. 5 и 6).

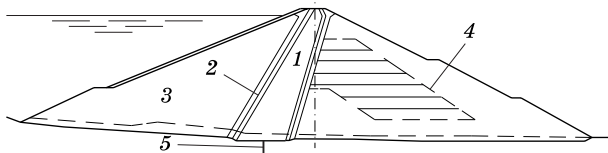


Рис. 5. Плотина «Сахаби»: 1 – ядро; 2 – транзитные зоны; 3 – упорные призмы плотины; 4 – зоны материала деловых выемок; 5 – противодиффузионная завеса

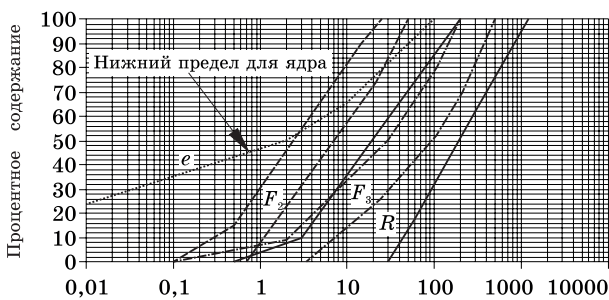


Рис. 6. Гранулометрические составы грунтовых материалов для плотины «Сахаби»

Согласно проекту, для устройства ядра плотины рекомендован элювий (продукт выветривания мергелей и глинистых известняков) – грунт, представляющий

собой средний или тяжелый суглинок (иногда легкую глину), имеющий следующие нормативные показатели физических свойств: плотность частиц – $2,68 \text{ т/м}^3$; число пластичности – $14,9 \%$ [1, 4]. По грансоставу: содержание фракций менее 2 мм должно быть не менее 50 %; максимальный размер включений не более 100 мм. При укладке этого грунта в тело ядра, согласно требованиям проекта, среднее значение плотности сухого мелкозема в слое не должно быть ниже $1,67 \text{ т/м}^3$ при минимально допустимой величине отдельных проб не менее $1,61 \text{ т/м}^3$. Уложенный таким образом материал будет иметь коэффициент фильтрации менее 10^{-6} см/с , показатели прочности $\varphi = 18,8^\circ$; $C = 40 \text{ кПа}$. Коэффициент уплотнения грунта $k_{\text{com}} \geq 0,96$. Заметная природная изменчивость свойств глинистого материала в карьерах по числу пластичности ($I_p = 12...23 \%$) и другим показателям (например, грансостав и параметры проктора) не позволяет использовать для оценки качества уплотнения материала в насыпи усредненные показатели, указанные в проекте. Получаемое по образцу грунта из насыпи значение достигнутой плотности после укатки может формально удовлетворять усредненным показателям, но на самом деле быть значительно ниже максимальной плотности конкретно уложенного грунта, и наоборот. Плотность сухого грунта, соответствующая 96 % от параметра Проктора, для глинистого материала с числом пластичности, например $I_p = 12 \%$, составит $1,67 \text{ т/м}^3$, а для грунта с $I_p = 23 \%$ – $1,57 \text{ т/м}^3$. Кроме того, разрешение допускать в единичных случаях (сколько и когда) значение плотности сухого грунта $1,61 \text{ т/м}^3$ без ссылок на свойства уплотняемого материала не является корректным. Чтобы избежать недоуплотнения грунта в насыпи, необходима система контроля качества работ через коэффициент уплотнения проб с учетом их индивидуальных особенностей, а не по отношению к средним показателям.

Для устройства упорных призм плотины выявлено месторождение афонитовых известняков с прочностью на одноосное сжатие в среднем $37\,100 \text{ кПа}$ (в воздушно-сухом состоянии) и $28\,200 \text{ кПа}$

(после водонасыщения). Прослой выщелоченных известняков имеют прочность на одноосное сжатие 10 000...25 000 кПа. Гранулометрический состав горной массы регламентирован требованием (см. рис. 6). В соответствии с проектом качественная укладка горной массы гарантирована при соблюдении ее гранулометрического состава и плотности скелета грунта после укатки более $1,85 \text{ т/м}^3$. При этом коэффициент пористости горной массы, уложенной в верхнюю призму, должен соответствовать 0,38, а нижней – 0,32. В указанных параметрах укладки грунта присутствует алогизм. Принятые проектом пределы грансостава (верхний и нижний) горной массы имеют коэффициенты разноразмерности $k_{60,10} = 10...11$, для которой плотность укладки не может быть больше $1,89 \text{ т/м}^3$, а коэффициент пористости – меньше 0,418. С другой стороны, для горной массы с коэффициентом пористости 0,38 и 0,32 после уплотнения плотность скелета должна быть соответственно $1,94 \text{ т/м}^3$ (но это при $k_{60} = 18,8$) и $2,03 \text{ т/м}^3$ (но это при $k_{60,10} = 52,8$), что определенно невозможно для грансоставов нижнего и верхнего пределов с $k_{60,10} = 10...11$. В пределах же самой зоны грансостава горной массы коэффициент разноразмерности может изменяться в несколько раз. Поэтому формальное соблюдение условия $\rho_d > 1,85 \text{ т/м}^3$ недопустимо, так как может быть недостаточным для уложенного в упорные призмы грансостава горной массы с конкретным значением $k_{60,10}$. Следовательно, чтобы избежать недоуплотнения, необходима схема контроля качества работ через коэффициент уплотнения горной массы по уточненным индивидуальным показателям ее грансостава.

Реконструируемая плотина «Эль Хвез» (Сирия) на реке Хвез имеет высоту 42 м (рис. 7) [1, 5]. Сооружение, входящее в состав комплексного проекта «Эль Син», имеет те же грунтовые материалы и карьеры, а также параметры укладки их в элементы плотины, что и объект «Сахаби». Следовательно, задачи оценки качества уплотнения грунтов аналогичные – через коэффициент уплотнения с учетом индивидуальных особенностей грунтовых материалов.

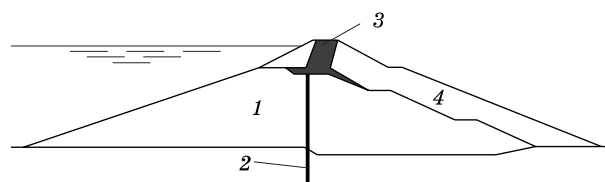


Рис. 7. Реконструируемая плотина «Эль Хвез»: 1 – плотина до реконструкции; 2 – стена в грунте; 3 – ядро; 4 – плотина после реконструкции

Работа службы геотехнического контроля на строительстве напорных грунтовых сооружений на сегодняшний день регламентирована руководством РД 34.15.073–91 (ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева, 1991), которое содержит общие положения геотехнического контроля, характеристики грунтов как материала для строительства, контроля за разработкой грунтов в карьере, указания по подготовке оснований сооружений, технологии возведения, рекомендации по отбору проб грунта из тела сооружения и определению физико-механических характеристик в лабораторных и полевых условиях.

Для того чтобы, например, осуществлять контроль за плотностью грунта, укладываемого в сооружение (при большом диапазоне изменения коэффициента разноразмерности), РД 34.15.073–91 рекомендует пользоваться зависимостями: для сыпучих грунтов $\rho_d = f(k_{60,10})$, глинистых $\rho_d = f(P\%)$, где $k_{60,10}$ – коэффициент разноразмерности; $P\%$ – процентное содержание мелкозема [6]. Однако указанные зависимости могут быть получены только в период укладки грунтов непосредственно в профильные объемы сооружения. По данным укладки грунта строятся кривые обеспеченности, по которым затем можно получить кривые, ограничивающие допускаемые отклонения по плотности. Такой подход к оценке качества выполненного уплотнения отличается сложностью, трудоемкостью и отсутствием оперативности.

Серьезным недостатком существующих оперативных методов оценки уплотненности грунтов является отсутствие возможности по тем же образцам или пробам, которые отбираются для установления качества выполненного уплотнения грунта, определять другие контролируемые показатели (прочности, водопроницаемости и т.д.) [1, 6 и др.]. Кроме того,

графики, составляемые для повышения оперативности контроля качества работ и выполняемые по данным разведки карьерных участков, зачастую не могут учесть технологическую изменчивость свойств грунтов в результате карьерной разработки, транспортировки на место укладки и разравнивания в слое.

Несбалансированность в проекте вида и состава грунтов с требованиями по их укладке в тело сооружения, влияние природной и технологической изменчивости свойств карьерного грунта на выходные параметры после его укатки можно исправить и учесть в ходе строительства грунтовых плотин, если служба, отвечающая за качество возведения таких сооружений, имеет современные и надежные методы и приемы оценки качества работ, отличающиеся оперативностью, четкостью и доступностью для персонала.

Выводы

Современный уровень развития техники и технологии строительства грунтовых напорных сооружений, накопленный опыт и знания требуют совершенствования существующих методов и технологий геотехнического контроля, в том числе и оперативных, особенностью которых является практическая направленность и комплексный подход к обеспечению качества и надежности напорных грунтовых сооружений на этапе их строительства.

1. **Жарницкий В. Я.** Обеспечение качества и надежности каменно-земляных плотин при строительстве: монография. – Иваново: Изд-во ИГЭУ имени В. И. Ле-

нина, 2005. – 156 с.

2. Thawra irrigation system in the Snoubar river catchment basin. – Stage 2. – Final report. – Sofia: Agrocomplect, 1986. – 130 p.

3. Abrache irrigation system in the Abrache river catchment basin. – Final report. Abrache dam. – Sofia: Vodprogect, 1989. – 85 p.

4. Проект «Al Sinn». Гидроузел «Al Sakhaby»: пояснительная записка. – М.: Совинтервод, 1996. – 35 с.

5. «Al Sinn» project. Final detailed design report. Al Houiz dam raising. – Second phase. – М.: Совинтервод, 1997. – 40 с.

6. 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.

Материал поступил в редакцию 20.01. 12.

Жарницкий Валерий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Экспертиза и управление недвижимостью»

Тел. 8-905-720-30-72

E-mail: Zharnitskiy@msuee.ru

Силкин Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты»

Тел. 8-916-510-43-64

Жарницкая Надежда Федоровна, старший преподаватель

Тел. 8-909-249-87-20