

УДК 502/504 : 627.824

**В. Я. ЖАРНИЦКИЙ**

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

**Н. Ф. ЖАРНИЦКАЯ**

Федеральное государственное образовательное учреждение среднего профессионального образования  
«Ивановский промышленно-экономический колледж»

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ  
ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ ПЛОТИН ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*В решении задачи по обеспечению эксплуатационной безопасности грунтовых плотин немалую, а может быть и самую важную, роль играет этап строительства таких сооружений, где обеспечение качества работ является залогом их надежности и долговечности.*

*Оперативный геотехнический контроль, квалификационный показатель грунта, коэффициент (степень) уплотнения, метод монолитов, метод лунки (шурфа).*

*In the task solution on ensuring the operational safety of soil dams not a small, but maybe the most important role is played by the construction stage of such structures where providing the work quality is a guarantee of their reliability and durability.*

*Operative geotechnical control, soil qualification index, coefficient (degree) of consolidation, method of monoliths, method of dibbling (digging).*

Строительство плотин из грунтовых материалов получило широкое развитие и распространение во всем мире. Это обусловлено их максимальной экономичностью, строительством в относительно короткие сроки, использованием грунтов полезных выемок, возможностью возведения в сложных природных условиях.

Актуальной проблемой в создании надежных, безопасных и долговечных грунтовых напорных сооружений является объективный и оперативный контроль качества работ на этапе их строительства. Даже при значительных достижениях и совершенствовании технологии строительства, повышении общего уровня знаний и опыта аварии плотин возможны. В решении задачи по обеспечению эксплуатационной надежности напорных грунтовых сооружений немалую, а может быть и самую главную, роль играет этап реализации проектного решения, т.е. строительства плотин. При ответственном отношении к данному этапу в процессе возведения сооружений нередко выявляются и

своевременно корректируются неточности проектных решений, разработок, требований и т. п. Анализ аварий плотин высотой более 30 м, произошедших после 1950 года, показывает, что примерно в равной мере такие аварии вызваны ошибками, допущенными при проектировании и строительстве (соответственно 39,6 и 41,7 %), и в меньшей степени – ошибками эксплуатации (18,7 %) (рис. 1) [1, 2].

Для создания противофильтрационных элементов (ядер, экранов, понуров, зубьев) грунтовых плотин используют глинистые грунты. 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. Причем последний указанный фактор является одним из наиболее серьезно осложняющих контроль качества укладки глинистого



Рис. 1. Распределение аварий грунтовых плотин мира ( $H > 30$  м) после 1950 года, вызванных ошибками проектирования, строительства и эксплуатации

грунта в насыпь. Из сказанного следует, что для точного представления о составе, свойствах, пространственной изменчивости глинистых грунтов в карьерах и оценки качества уложенного грунта в насыпь, наряду с прямыми (стандартными) методами, важно иметь оперативные методы определения геотехнических параметров грунта и на этой основе оперативные методы контроля качества укладки глинистых материалов в насыпь.

Анализ результатов работ по устройству ядер каменно-земляных плотин в Сирии («Саура», «Абраш», «Сахаби», «Эль Хвез») позволяет обобщить не только опыт оценки качества укладки глинистых грунтов в насыпь, но и опыт ускоренного определения геотехнических параметров связных грунтов (пределов Аттерберга, параметров Проктора, прочностных характеристик, водопроницаемости) в зависимости от квалификационных показателей грунта, представляющих собой совокупность известных, периодически контролируемых и достаточно легко определяемых показателей физических свойств грунта, объединенных в один модуль в определенной комбинации.

Для геотехнического контроля, как и для инженерно-геологических прогнозов, 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 системам, где 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.

Конечно, предпочтителен первый подход. Однако в связи с трудностями его реализации из-за отсутствия к настоящему времени удовлетворительного теоретического обоснования распределения показателей свойств грунтов разработка косвенных (оперативных) методов определения контролируемых показателей свойств грунтов выполнялась в рамках второго подхода, когда статистический аспект надежности находится на переднем плане.

В технологических картах устраиваемых противодиффузионных элементах плотин необходимо, чтобы плотность грунта в сухом состоянии, полученная после уплотнения, была близка к плотности в сухом состоянии, по Проктору. Для уточнения сказанного введено понятие, которое называют либо показателем уплотнения, либо коэффициентом уплотнения или степенью уплотнения, но смысл которого – отношение плотности сухого грунта в слое после уплотнения  $\rho_{di}$  к максимальной плотности сухого грунта  $\rho_{dmax}$  при испытании, по Проктору:

$$k_{com} = \rho_{di} / \rho_{dmax} \quad (1)$$

Величина коэффициента уплотнения  $k_{\text{com}}$  для каждой разновидности грунта назначается в зависимости от конструктивных особенностей и класса сооружения, местоположения и сейсмичности района, а также от результатов технико-экономического обоснования [3].

Таким образом, для грунтовых напорных сооружений плотность грунта, укладываемого послойно с уплотнением, на основе уже известной максимальной плотности  $\rho_{d \text{ max}}$ , по Проктору, должна соответствовать следующему условию [4]:

$$\rho_{di} \geq k_{\text{com}} \cdot \rho_{d \text{ max}}. \quad (2)$$

Быстрое, надежное и достоверное установление параметров уплотнения в технологических картах при абсолютном соблюдении условия (2) – задача оперативного геотехнического контроля. Важнейшими факторами, оказывающими наибольшее влияние на оперативность геотехнического контроля качества уплотнения любых грунтовых материалов, являются определение их влажности и контроль качества грунтов или грунтовых смесей.

Требования нормативных документов по определению влажности грунтов при 105 °С в течение 6...8 ч в известной степени формальны, так как не учитывают типа и вида грунта, объема пробы, технических возможностей сушильных приборов. В этой связи нормативные положения с достаточной для практических целей точностью могут корректироваться в зависимости от конкретных условий [5]. Согласно требованию, ограничивающему содержание в грунтах солей и органических веществ, температура сушки исследуемых образцов грунта при выполненном параллельном контроле может быть повышена до 200 °С. Как показала практика, разница в результатах не превысила 2 %. При температуре сушки выше чем в два раза от нормативной разница в полученных результатах по некоторым образцам превысила 2 % (при допустимой – 2 %). Применение повышенной температуры

высушивания образцов грунта является важным элементом повышения оперативности в оценке качества укладки глинистых материалов в сооружения.

В практике проектирования и строительства напорных грунтовых сооружений помимо чистых, не содержащих крупных включений, глинистых грунтов все чаще для устройства противифльтрационных элементов плотин используются грунтовые смеси, состоящие из обломков скальных и полускальных пород (от 5 до 100 мм и более) с глинистым заполнителем в количестве более 40 %, переполняющим поры, образованные крупными включениями. Иначе говоря, эти включения как бы «плавают» в мелкозем. Оперативность работ по геотехническому контролю качества укладки таких грунтовых смесей осложняется необходимостью отбора больших проб материала (несколько десятков килограммов). Поскольку свойства грунтовой смеси (водопроницаемость, прочность, плотность и т.п.) в целом определяются свойствами мелкозернистой части скелетного грунта (содержанием частиц диаметром менее 2 или 5 мм), метод контроля качества грунтовых смесей по плотности мелкозема представляется перспективным [5–7].

Среди известных методов контроля качества уплотнения грунтовых материалов метод А. Н. Скибина по ускоренному контролю качества укладки глинистых грунтов можно считать наиболее интересным [5, 6, 8]. Этот метод основан на уже известном максимальном и минимальном значениях параметра Проктора по карьере, полученных еще на стадии изысканий. Если допустить, что изыскания устанавливают полную природную изменчивость свойств грунтов в месторождении, что не всегда удается даже при наивысшей категории разведанности карьерных участков, то невозможно учесть реальную вариацию перемешивания грунта при его разработке в карьере, складировании в резервах,

откуда грунт попадает в технологические карты, где при отсыпке и разравнивании в слой также происходит его перемешивание. Отсюда следует, что параметры Проктора, по данным изысканий и реальной работы карьера, в ходе строительства плотины имеют отличие. В результате максимальное и минимальное значения  $\rho_{d\max}$  по карьере становятся «плавающими» показателями. А поскольку реальная вариация граничных значений параметра Проктора для мелкозема уже не является абсолютной, то это создает серьезную проблему в отношении достоверности результатов геотехнического контроля, тем более ускоренного.

Предлагаемый метод оперативного контроля качества укладки глинистых грунтов в противофильтрационные элементы плотин также основан на оценке плотности мелкозема (мелкозем – грунт с содержанием частиц менее 5 мм). Суть процесса ведения контроля заключается в следующем.

1. Из уплотненного слоя отбирается монолит массой до 1 кг и по общеизвестной методике определяется его плотность  $\rho$ . Затем монолит разрушают, высушивают при повышенной температуре и определяют влажность  $W$  грунта в монолите. Высушенный и размельченный грунт просеивают через сито с диаметром отверстий 5 мм и устанавливают содержание частиц менее 5 мм ( $m_{d<5}$ ). Влажность включений крупнее 5 мм  $W_{d<5}$  устанавливают заранее путем несложных выборочных определений на стадии изысканий, конечно, с обязательным периодическим контролем и уточнением в ходе строительства. Влажность мелкозема  $W_{<5}$  определяют из выражения [1]:

$$W_{<5} = [W - W_{<5} \cdot (1 - m_{<5})] / m_{<5} \quad (3)$$

Установление влажности мелкозема  $W_{<5}$  необходимо для контроля проектного требования к влажности укладываемого грунта:

$$AW_{\text{opt}} \leq W \leq BW_{\text{opt}} \quad (4)$$

где  $W_{\text{opt}}$  – оптимальная влажность, по Проктору; А и В – соответственно нижний и верхний допускаемые пределы отклонения влажности

укладываемого грунта при проектном коэффициенте уплотнения  $k_{\text{com}}$ .

Плотность скелета монолита и мелкозернистой части грунта, согласно [1, 6, 8], рассчитывается по формулам:

$$\rho_d = \rho / (1 + W); \quad (5)$$

$$\rho_{d<5} = (\rho_d \rho_{d>5} m_{<5}) / [\rho_{d>5} - \rho_d (1 - m_{<5})], \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность монолита в целом;  $\rho_d$  – плотность скелета монолита в целом;  $W$  – влажность монолита;  $\rho_{d>5}$  – плотность скелета фракций крупнее 5 мм;  $m_{<5}$  – содержание мелкозема в монолите;  $\rho_{d<5}$  – плотность скелета мелкозема.

2. Определение качества уплотнения грунта в слое. Для этого из грунта разрушенного монолита отбирается проба для установления верхнего предела пластичности  $W_L$  с использованием повышенной температуры высушивания. Затем рассчитываются параметры Проктора –  $\rho_{d\max}$  и  $W_{\text{opt}}$  – по формулам:

$$\rho_{d\max} = 1,44 + 0,88 \ln[\rho_s / (l + e_L)], \quad (7)$$

где  $\rho_s / (l + e_L)$  – плотность скелета грунта при влажности  $W_L$ ;  $e_L = (\rho_s W_L) / \rho_w = \rho_s W_L$  – коэффициент пористости грунта, соответствующий влажности на границе текучести;  $\rho_w$  – плотность воды;  $W_L$  – влажность на границе текучести;

$$W_{\text{opt}} = 11,83 \ln(e_{\text{opt}} W_L) + 37,07 \%, \quad (8)$$

где  $e_{\text{opt}} W_L$  – квалификационный показатель грунта, представляющий собой комбинацию из физических характеристик:  $e_{\text{opt}} = (\rho_s - \rho_{d\max}) / \rho_{d\max}$  – коэффициент пористости максимально уплотненного грунта;  $\rho_s$  – плотность частиц грунта;  $\rho_{d\max}$  – максимальная плотность сухого грунта;  $W_L$  – влажность на границе текучести.

Используя выражение (1), устанавливаем достигнутый в слое коэффициент уплотнения  $k_{\text{com } i}$  грунта и сравниваем с проектным требованием:

$$k_{\text{com } i} = (\rho_{d<5 i} / \rho_{d\max i}) \geq [k_{\text{com}}]_{\text{по проекту}} \quad (9)$$

Таким образом, коэффициент уплотнения устанавливается для каждого образца (пробы) с учетом его индивидуальных особенностей по гранулометрическому составу, глинистости, а не по отношению к средним показателям по карьере. При невыполнении условия (9) назначаются необходимые мероприятия, обеспечивающие проектные требования по уплотнению грунта. На практике, при точном соблюдении технологических параметров укладки грунта в насыпь и проектных требований, исследуемые образцы будут иметь значения  $\rho_{d<5 i}$ , удовлетворяющие условию (9).

3. По установленным значениям  $\rho_{d < 5}$ ;  $m_{< 5}$ ;  $W_L$  для каждой пробы и в среднем по слою вычисляем показатели прочности  $\text{tg } \varphi$  и  $C$  по формулам:

$$\text{tg } \varphi = 0,231 - 0,33 \ln(e/e_L); \quad (10)$$

$$C = 21,63 - 40,39 \ln(e/e_L) \text{ кПа}, \quad (11)$$

где  $e/e_L$  – многофакторный квалификационный показатель состояния глинистого грунта, объективно отражающий физическую сущность его прочности после уплотнения в технологическом слое;  $e$  – коэффициент пористости уплотненного в насыпи грунта;  $e_L = (\rho_s W_L)/\rho_w = \rho_s W_L$  – коэффициент пористости грунта, соответствующий влажности на границе текучести.

Коэффициент фильтрации

$$k_f = 0,574[e/(m_{< 5} W_L)]^{3,22} \times 10^{-7} \text{ см/с}, \quad (12)$$

где  $e/(m_{< 5} W_L)$  – многофакторный квалификационный показатель состояния глинистого грунта, объективно отражающий физическую сущность его водопроницаемости после уплотнения в технологическом слое:  $e$  – 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.

Таким образом, создается полное представление о качестве грунта, поступающего в технологические карты, и его уплотнении в слое. При этом не исключаются нормативные и проектные требования к определению показателей прочности и водопроницаемости прямыми (экспериментальными) методами в зависимости от объемов укладываемого грунта.

Для повышения надежности и оперативности метода полезно состав-

ление вспомогательных номограмм из графиков вида  $\rho_d = f(\rho)$ ;  $\rho_{d < 5} = f(\rho_d)$  и  $k_{\text{com}} = f(\rho_{d \text{ max}})$ , позволяющих проводить самоконтроль при определении плотности уложенного в насыпь грунта. На рис. 2 представлена номограмма для различной влажности грунта  $W$  и содержания в нем мелкозема  $m_{< 5}$ , составленная по формулам (5) и (6). Природная изменчивость свойств грунта в карьере при оценке качества его уплотнения в технологической карте учитывается другой номограммой (рис. 3), составленной по реальной вариации верхнего предела пластичности  $W_L$  глинистого материала в карьере с нанесенным проектным требованием к уплотнению грунта  $k_{\text{com}}$ . Значение коэффициента уплотнения для класса капитальности зависит от конструктивных особенностей и класса сооружения, местоположения и сейсмичности района, а также от результатов технико-экономического обоснования. Контроль качества укладки грунта с использованием номограмм выполняется в той же последовательности, как и при вышеописанном расчетном варианте, в соответствии с определяемыми показателями: плотности образца-монолита  $\rho$ ; влажности образца-монолита  $W$ ; содержания мелкозема в образце  $m_{< 5}$  и уточненного для образца грунта верхнего предела пластичности  $W_L$  (см. рис. 2 и 3).

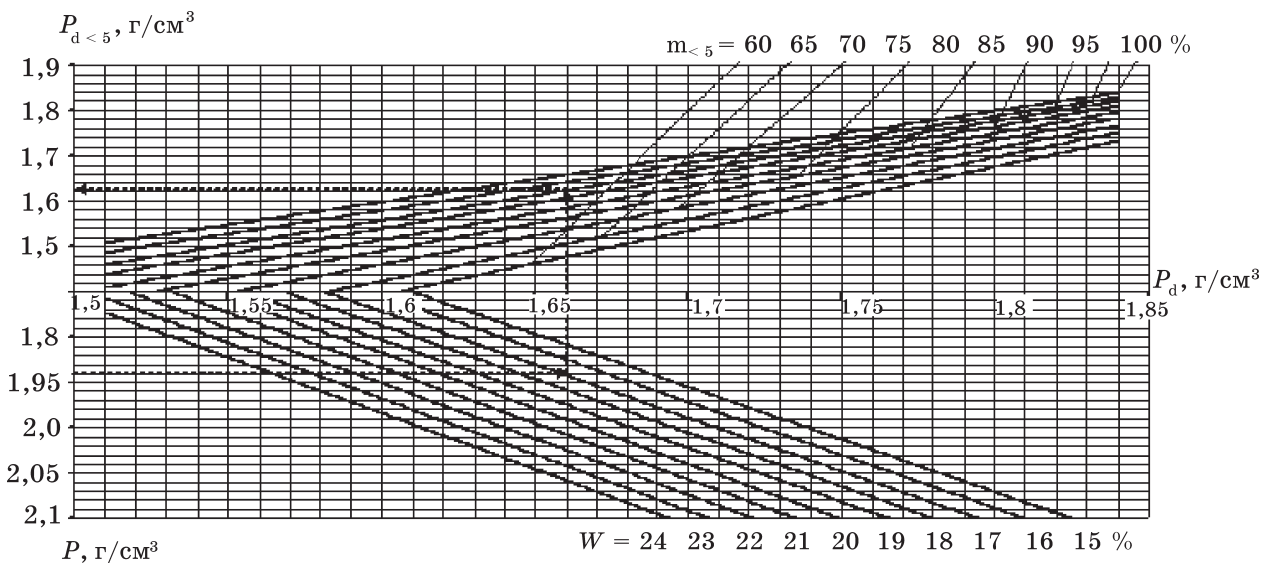


Рис. 2. Номограмма для определения плотности мелкозема в образце грунта

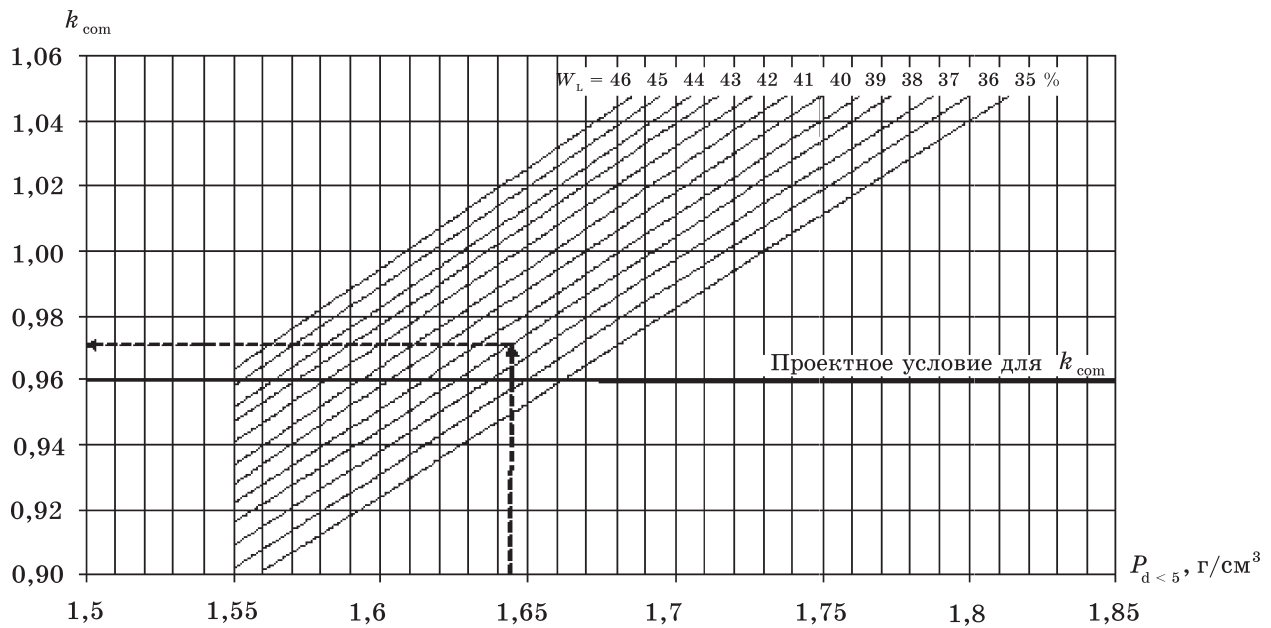


Рис. 3. Номограмма для определения коэффициента уплотнения образцов глинистого грунта

Представляемый метод контроля по содержанию мелкозема в образцах-монолитах, отбираемых из технологических карт, отличается простой технологией, возможностью использования его как для «чистых» глинистых грунтов, так и для грунтовых смесей, не требует специального оборудования, большого ручного труда и обеспечивает высокую точность оценки, что подтверждается сертификатом, выданным по результатам соответствующей проверки и опробования (рис. 4).

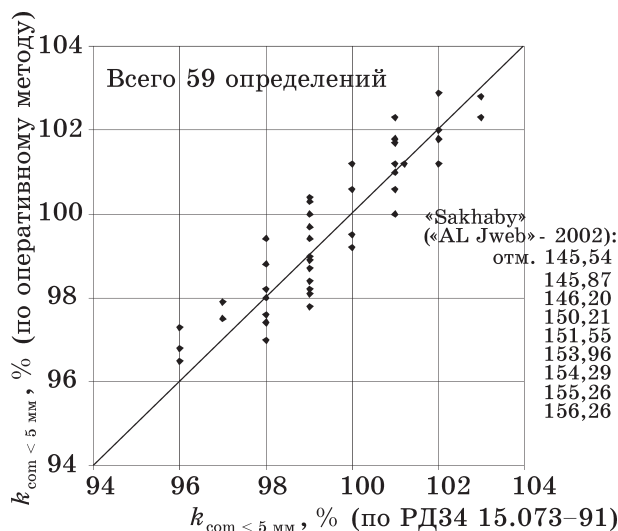


Рис. 4. Сопоставление значения коэффициента уплотнения глинистого грунта по РД 34 15.073-91 и предлагаемому методу

Кроме того, «метод монолитов» для скелетных грунтов подтверждает более высокую точность и меньший разброс величин плотности, чем более известный «метод лунки» (шурфа), при котором имеет место вероятность допущения ошибок независимо от квалификации персонала.

1. **Борткевич С. В., Вудель В. И., Чернилов А. Р., Ройко Н. Ф.** Контроль качества уплотнения грунтовых материалов при строительстве высоких плотин // Гидротехническое строительство. – 1981. – № 5. – С. 9–12.

2. **Хилфон Дж.** Быстрый метод строительного контроля степени уплотнения связных грунтов: научные доклады высшей школы. – М.: Строительство, 1959. – № 1. – С. 127–135.

3. **Ермолаева А. Н., Павчич М. П., Рельтов В. Ф.** Экспериментальные исследования уплотняемости грунтовых смесей // Известия ВНИИГ. – 1989. – Т. 216. – С. 69–75.

4. **Жарницкий В. Я.** Обеспечение качества и надежности каменно-земляных плотин при строительстве. – Иваново: изд-во ИГЭУ им. В. И. Ленина, 2005. – 156 с.

5. **Иващенко И. Н.** Инженерная оценка надежности грунтовых плотин // Библиотека гидротехника и гидроэнергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – Вып. 105. – 144 с.

6. **Иващенко И. Н.** Научные основы решения проблемы контроля, оценки и обеспечения безопасности грунтовых плотин : автореф. ... д-ра техн. наук: 05.23.07. – М.: МГСУ, 2000. – 49 с.

7. Рекомендации по контролю качества возведения насыпных плотин из грунтовых материалов: П-№767. – М.: Гидропроект, 1982. – 96 с.

8. Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов (раздел «Назначение расчетных характеристик материалов грунтовых плотин»): П-783-83. – М.: Гидропроект,

1983. – 86 с.

9. **Скибин А.Н.** Ускоренный контроль качества укладки глинистых грунтов в тело земляных напорных сооружений // Гидротехническое строительство. – 1991. – № 3. – С. 27–31.

Материал поступил в редакцию 10.01.10.

**Жарницкий Валерий Яковлевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты»

Тел. (495) 976-48-06

E-mail: zharnitskiy@msuee.ru

**Жарницкая Надежда Федоровна**, преподаватель

Тел. (4932) 32-73-04

УДК 502/504: 574

**И. Л. ДМИТРИЕВА, Т. Б. ГУРЬЕВИЧ, А. Н. САМОСЕЙКО**

ЗАО «Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике»

**Г. Г. ФИЛИППОВ, А. В. ИВАНОВ**

ОАО «Институт Гидропроект»

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ БИОТЫ В БАССЕЙНАХ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Представлены результаты изучения влияния работы Загорской ГАЭС на водную экосистему. Дан прогноз ее изменения при строительстве Загорской ГАЭС-2 и рекомендации по составу рыбозащитных сооружений.*

*Гидроаккумулирующая электростанция, экосистема, биота, ихтиофауна, качество воды, природоохранные мероприятия, рыбозащитные устройства.*

*There are given results of studying the influence of the Zagorskaya PSPP operation on the water ecosystem. The forecast of its changing under building Zagorskaya PSPP-2 is given as well as recommendations on the structure of the fish protection constructions.*

*Pumped- storage power plant, ecosystem, biota, ichthyofauna, water quality, environmental measures, fish protection constructions.*

Строительство гидроэнергетических объектов и водохранилищ оказывает существенное влияние на водную биоту рек. Наиболее глубоким изменениям подвергаются гидробионты и ихтиофауна рек при размещении на них гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС), водная растительность.

В настоящее время в Московской области на реке Кунья эксплуатируется Загорская гидроаккумулирующая электростанция, строится Загорская гидроакку-

мулирующая электростанция-2 (ЗГАЭС и ЗГАЭС-2). Схема размещения этих сооружений показана на рис. 1.

В составе проектов этих станций были выполнены специальные разделы, включающие в себя следующие действия: оценку состояния водной биоты реки Кунья до начала гидроэнергетического строительства;

выявление факторов воздействия гидроаккумулирующей электростанции на различные компоненты водной биоты;