



**ГАЛАТ ВИКТОР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**  
Технический директор институтов ПАО «Укрэнергопроект» и ООО «Гидротехпроект», технический директор Межрегионального центра инженерных изысканий г.Харьков  
Основные направления деятельности: инженерно-геологические изыскания и разработка проектов гидроэлектростанций, грунтовых и бетонных плотин, защитных гидротехнических сооружений  
Автор ряда статей  
E-mail: galat\_viktor@uhp.kharkov.ua



**ТАРАНОВ ВАЛЕНТИН ГЕОРГИЕВИЧ**  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механики грунтов, фундаментов и инженерной геологии» Национальной академии городского хозяйства Украины. Член УОМГГФ, РОМГГиФ, ISSMGE, НТС МОН, Координационного совета по строительству в сложных грунтовых условиях Украины.  
Основные направления научной деятельности: динамика и сейсмика оснований и фундаментов, геотехническое строительство и освоение подземного пространства городов, вопросы строительной экологии.  
Автор более 100 научных работ.  
E-mail: vgeot@ksame.kharkov.ua

УДК 627.8

## **ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВРЕМЕННОЙ ДАМБЫ ДНЕСТРОВСКОЙ ГАЭС**

*Ключевые слова: плотина, устойчивость, откос, непроницаемый экран*

*Представлены материалы комплексного исследования различных аспектов проблемы обеспечения надежности дамбы верхнего водоема гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС).*

*Представлені матеріали комплексного дослідження різних аспектів проблем забезпечення надійності дамб верхнього водойму гідроаккумуляуючої електростанції*

*Materials of complex research of various aspects of a problem of maintenance of reliability of a dam of the top pond of hydroheat-sink power station are presented.*

Проектом Днестровской ГАЭС [1] предусмотрен верхний водоем площадью более 3.0 млн. м<sup>2</sup>, с полезным объемом – 32.7 млн. м<sup>3</sup>. Длина водоема около 3 км, наибольшая ширина около 1 км; общая длина ограждающей дамбы - 7350 м при высоте 21 м.

Для обеспечения пуска гидроагрегата № 1 станции в верхнем водоеме предусмотрено выделение 1-й очереди с помощью временной дамбы (см. рис.1). Длина выделяемой части составляет 700 м, общая длина ограждающих левобережной и правобережной дамб – 1900 м, длина временной дамбы по гребню - около 625 м, объем воды в образованном та-ким образом бассейне, при отметке НПУ 222.500 м, - 2 млн. м<sup>3</sup>. Сооружения верхнего водоема отнесены к I классу капитальности.

Тело временной дамбы возводится насыпным способом, с заложением верхового откоса 1:3.5, низового - 1:3.

Одной из главных проблем надежности дамбы является проблема создания водонепроницаемого экрана, защищающего верховой откос. Рассмотрены два варианта конструкции дамбы, представленные на рис. 2:

Смотри рисунок 1 на стр. 4 обложки

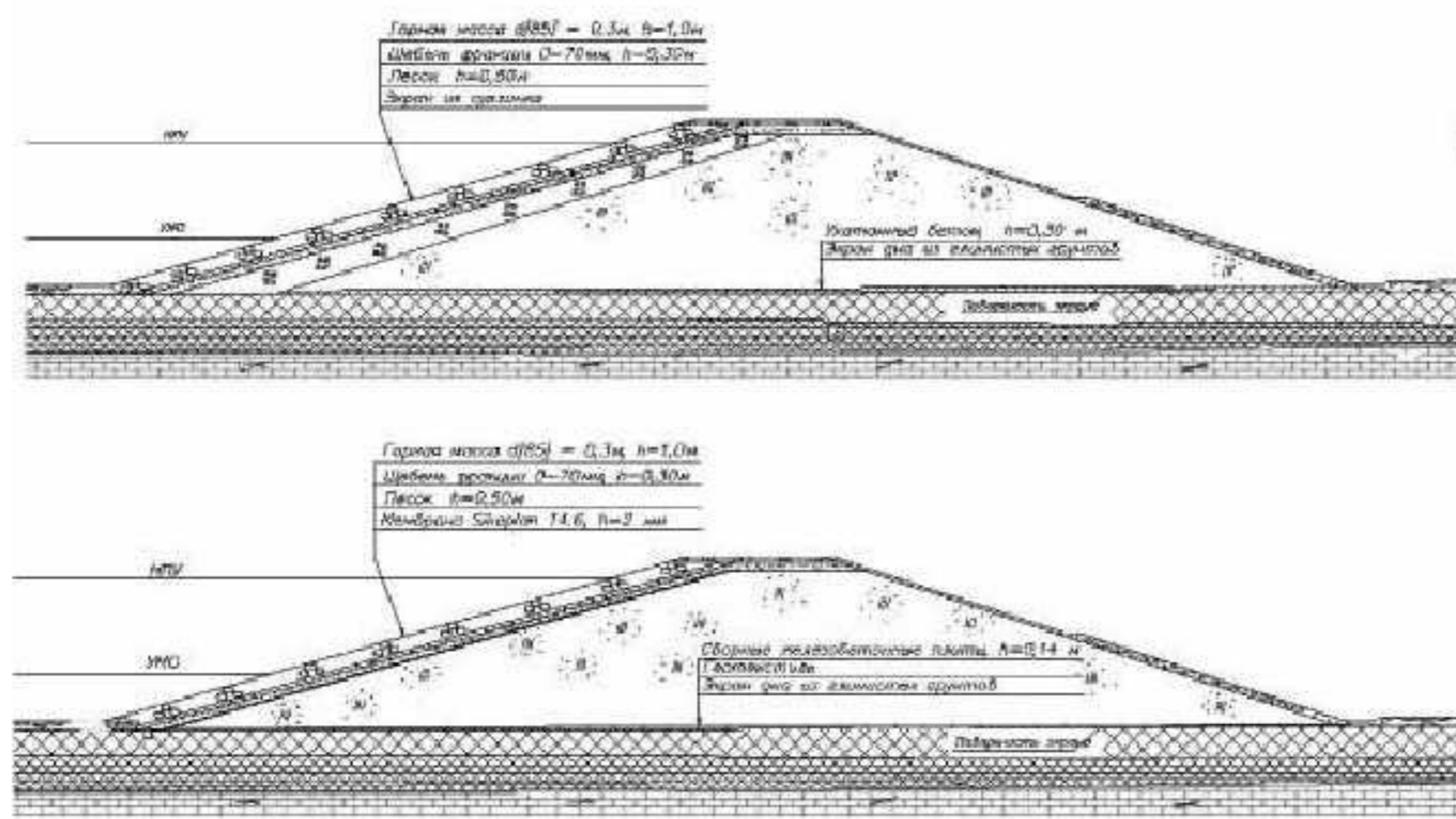


Рис. 2 Временная дамба: а) вариант 1; б) вариант 2

В первом варианте толщина суглинистого экрана изменяется по высоте от 1,0 м у гребня дамбы до 2-х метров у подошвы. Для защиты экрана от волновых и ледовых воздействий, а также от промерзания предусматривается его крепление горной массой с  $d_{85}=0.30$  м, толщиной 1.0 м по переходному слою из щебня фракции 0-70 мм, толщиной 0.30 м, и средне-зернистого песка толщиной 0.50 м.

Во втором варианте на верховом откосе дамбы устраивается противофильтрационный экран из полимерной мембраны (Sikaplan 14.6) толщиной 2 мм, которая сопрягается с экраном дна водоема. Мембрана укладываются с перехлестом соседних полотнищ на 10 см, их соединение производится сваркой горячим воздухом (ручными или автоматическими механизмами) с соответствующим контролем качества сварного шва. Конструкция защитного слоя та же, что и в варианте 1.

Местные суглинки, применяемые в первом варианте, содержат довольно крупные карбонатные включения. Это решение экрана требует специальных исследований указанных грунтов, проведение которых сопряжено с определенными трудностями из-за отсутствия стандартного оборудования. Ниже приводится описание таких исследований, включающих в себя определение прочностных и фильтрационных свойств суглинков. Кроме того, в рамках комплекса исследований проводилось компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) дамбы, расчеты ее устойчивости и анализ данных разных натурных наблюдений [2].

Прочностные характеристики грунтов определялись [3] по результатам испытаний в приборе одноплоскостного среза, имеющем следующие технические характеристики. Размеры образца грунта, мм: длина – 315; ширина – 318; высота – 145. Площадь поперечного сечения образца – 1002 см<sup>2</sup>; его объем – 14525 см<sup>3</sup>. Диапазоны изменения нормальной и сдвигающей нагрузок, соответственно – 0-300 кПа; 0-200 кПа.

Образцы формировались из грунта нарушенной структуры, содержащего до 30 % карбонатных включений с максимальным размером фракций 40 мм. Испытания проводились по двум схемам: консолидированно – и неконсолидированно – дренированной (соответствен-

но медленный и быстрый сдвиги); кроме того, методом шаровой пробы определялась длительная прочность грунтов.

Результаты экспериментов, приведены в таблице 1.

Из анализа табличных данных следует, что наличие крупнозернистых включений в испытуемых грунтах приводит к увеличению их сдвиговой прочности.

Водопроницаемость суглинков, содержащих карбонатные включения, определялась [3] в компрессионно-фильтрационных приборах КФ, имеющих рабочую камеру диаметром 450 мм. Исследуемый образец грунта высотой 150 мм располагался между нижним однослойным дренажным фильтром из песка и верхним

Таблица 1  
Результаты экспериментов

Содержание карбон. включений по массе	Нормативные значения		Длительное сцепление грунта	
	X, %	tgφ <sub>n</sub> φ <sub>n</sub> град.	X, %	tgφ <sub>n</sub>
<b>Быстрый сдвиг</b>				
0	0.167	9.5	0.071	
10	0.171	9.7	0.078	
20	0.204	11.5	0.115	
30	0.222	12.5	0.105	
<b>Медленный сдвиг</b>				
0	0.220	12.4	0.067	0.042
10	0.224	12.6	0.068	0.042
20	0.281	15.7	0.064	0.045
30	0.295	16.4	0.064	0.046

двухслойным фильтром из песка и гравия фракций 2-5 мм. Нормальное гидростатическое давление на образец, передаваемое через перфорированный штамп, создавалось с помощью грунтовой пригрузки.

Грунт, загружаемый в фильтрационный прибор, готовился также как и для сдвиговых испытаний. Исследования водопроницаемости проводились в тече-

Таблица 2  
Физические и фильтрационные характеристики грунтов

X, %	Мелкоземы			Смесь		K <sub>ф</sub> , м/сут
	w, д.е.	ρ <sub>д</sub> г/см <sup>3</sup>	S <sub>r</sub> , д.е.	w, д.е.	ρ <sub>д</sub> г/см <sup>3</sup>	
0	0.195	1.71	0.90			1.2 · 10 <sup>-6</sup>
10	0.194	1.7	0.88	0.175	1.76	1.7 · 10 <sup>-6</sup>
20	0.205	1.69	0.92	0.164	1.82	1.5 · 10 <sup>-6</sup>
30	0.201	1.68	0.89	0.141	1.88	2.0 · 10 <sup>-6</sup>

ние 20-25 суток по схеме «снизу – вверх»; фильтрационный расход контролировался по падению уровня воды в пьезометре верхнего бьефа.

Результаты исследований содержатся в таблице 2.

Для всех образцов характерно резкое снижение водопроницаемости на протяжении первых 50-75 часов после постановки под напор. По окончании водонасыщения и прекращения действия капиллярных сил, процесс стабилизируется (в таблице приведены средние коэффициенты фильтрации после стабилизации процесса). Как видно из таблицы, содержание в суглинках крупнозернистых карбонатных включений в интервале 0-30 %, не оказывает заметного влияния на водопроницаемость грунта (при условии равномерного распределения включений по объему).

Полученные характеристики использованы для построения напряженно-деформированного состояния (НДС) дамбы при разных вариантах суглинистого экрана, отличающихся процентом содержания карбонатных включений. В расчетах применена компьютерная программа [4]. Рассматривается плоская задача. Конечноэлементная схема состоит из 15-ти узловых элементов. Граничные условия, делают невозможными горизонтальные перемещения по подошве дамбы, но допускают ее вертикальные деформации по краям.

На рис. 3 представлены результаты расчетов НДС, которые типичны для всех рассмотренных вариантов

поверхностей скольжения, по методу наклонных сил взаимодействия, рекомендованному [5]. Потенциальные «призмы обрушения» (для случая 30%-го содержания в экране карбонатов) показаны на рис. 4а (верховой откос) и рис. 3б (низовой откос). Приведены коэффициенты запаса устойчивости в табл. 3, из которой видно, что в отличие от  $k_{st}$  верхового откоса, превышающего нормативный (для основного сочетания нагрузок равен 1,32),  $k_{st}$  низового откоса меньше  $k_{st}^n$ . В связи с этим рекомендовано укрепление низового откоса полимерными материалами. Оценочные расчеты показали, что с помощью армирования грунтов дамбы возможно повышение ее коэффициента  $k_{st}$  до величины большей  $k_{st}^n$ . Обращает на себя внимание и увеличение коэффициента запаса устойчивости верхового откоса, что также можно объяснить эффектом армирования тела насыпи, поскольку полотнища геотекстиля «заходят» и в «призму обрушения» верхового откоса.

**ВЫВОДЫ:**

Таким образом, на основании результатов выполненных расчетов можно сделать вывод, что устойчивость верхового и низового откосов принятого профиля дамбы обеспечена.

На протяжении всего периода строительства, помимо описанных выше исследований, проводились систематические полевые наблюдения за состоянием всех объектов

ГАЭС, в т.ч. и дамбы верхнего водоема, оснащенной, в первую очередь, поверхностными и глубинными грунтовыми марками, а также опускными пьезометрами. Частичные результаты этих исследований иллюстрируются рис.5, из которого видно, что осадки поверхности дамбы, за небольшим исключением, не превышают 3 – 5 мм.

Перед пуском первой очереди станции уровни воды в пьезометрах неогенового водоносного горизонта колебались в интервале величин  $\pm(0,02-0,14)$  м. В процессе заполнения верхнего водоема до отметки 222.50 м в насосном режиме и опорожнения его до отметки 216.00 м в генераторном режиме, состояние поверхности дамбы в районе подводящего водовода № 1 не изменилось.

В целом, состояние гидротехнических сооружений Днестровской ГАЭС, в период опытно-промышленной эксплуатации гидроагрегата № 1, во втором квартале 2010 года оценивается как работоспособное в нынешних условиях и удовлетворяющее требованиям безопасности.

Таблица 3

Коэффициенты запаса устойчивости

Откос	Коэффициент запаса			
	Нормативный по СНиП	Расчетный		
		программа «Откос»	программа «Plaxis» (без геотекстиля)	программа «Plaxis» (с геотекстилем)
Верховой	1.32	1.43	1.47	1.71
Низовой	1.32	1.33	1.21	1.34

экрана верхового откоса, а полученные при численном моделировании величины эффективных, нейтральных и полных напряжений, как и ожидалось, не имеют существенных различий.

Кроме того, определены коэффициенты запаса устойчивости  $k_{st}$  дамбы.

Расчеты устойчивости откосов выполнены также по [4] и программе “Откос” как для круглоцилиндрических

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Днестровская ГАЭС. Рабочая документация. Верхний водоем. Конструкция временной дамбы. Технический отчет 732-10-T24/ - ОАО «Укрэнергопроект».- 2007.- 290с.
2. Днестровская ГАЭС. Натурные кон-трольные наблюдения, специальные исследования и мониторинг сооружений. Технический отчет 732-34-T462/1 - ОАО «Укрэнергопроект».- 2010.- 105с.
3. Галат В.В., Дробахин В.П., Таранов В.Г. Комплексное исследование дамбы водоема./ 3б. пр. НДІБК.- вип. 71, кн..2 – 2008.- С.171-177.
4. Plaxis version 7. Manuals. Edition by R.B.J. Brinkgreve, P.A. Vermeer – Rotterdam: 1998.
5. СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов. Москва.- 1991 43с.

Смотри рисунки 3-5 на стр. 4 обложки

