

УДК 502/504:627.82.034.93

В. Я. ЖАРНИЦКИЙ

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

ПРОБЛЕМА УСТРОЙСТВА НИЗОВОЙ УПОРНОЙ ПРИЗМЫ ПЛОТИНЫ «САХАБИ» (СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

Трещинообразование – наиболее распространенный вид повреждения грунтовых плотин. Причиной образования продольных или поперечных трещин в теле сооружения являются неравномерные объемные деформации. Чаще всего такие неблагоприятные процессы проявляются при неудачном выборе вида грунтового материала, отсутствии исчерпывающих исследований его свойств, некорректном обосновании требований по укладке материала в тело плотины и низком качестве работ.

Створ плотины, осадка, вертикальные и горизонтальные перемещения, афонитовый известняк, горная масса, трещинообразование, доверительная вероятность, плотность в сухом состоянии, прочность на одноосное сжатие, коэффициент размягчения, модуль деформации, опытная укатка, афонитовые и выщелоченные известняки.

Crack formation is the most widely spread kind of ground dam damages. The cause of formation of longitudinal and circumferential cracks in the body of the construction is non-uniform volumetric deformations. Most often such unfavorable processes tend to appear at the unsuccessful choice of the ground material type, absence of exhaustive researches of their properties, incorrect substantiation of the requirements on its laying into the dam body and poor quality of works.

Dam site, settling, vertical and horizontal displacements, aphonite limestone, mined rock, crack formation, confidence probability, density in a dry condition, uniaxial compression strength, softening coefficient, module of deformation, experimental rolling, aphonite and leached limestone.

Основной задачей гидротехнической науки и практики является создание оптимальных по надежности, долговечности и экономичности гидротехнических сооружений.

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 на всех этапах их жизненного цикла.

Трещинообразование – наиболее распространенный вид повреждения грунтовых плотин. Причиной образования продольных или поперечных трещин являются неравномерные объемные дефор-

мации: осадки, вертикальные или горизонтальные смещения призм на склонах створа. Как правило, такие неблагоприятные процессы, протекающие в теле грунтовых плотин, возникают при неправильном выборе створа и конструкции плотины, некорректном профилировании крутых склонов створа под насыпь, а чаще всего – при неудачном выборе вида грунтового материала, отсутствии исчерпывающих исследований его свойств, некорректном обосновании требований по его укладке в тело плотины и низком качестве работ.

Плотина «Сахаби» (Сирия) каменно-земляная, высотой 68 м, перекрывает русла рек Бейт Яшут и Эль Джвевб (рис. 1). Согласно проекту [1], для объединения этих русел в одну чашу водохранилища предусмотрен соединительный канал. Для устройства упорных призм плотины предложено использовать афонитовый известняк с плотностью

в сухом состоянии $2,36 \text{ т/м}^3$, влажностью после водонасыщения $4,9 \%$, прочностью на одноосное сжатие в среднем $37\ 100 \text{ кПа}$ (в воздушно-сухом состоянии) и $28\ 200 \text{ кПа}$ (после водонасыщения), коэффициентом размягчения $0,76$. Прослой выщелоченных известняков с пониженной плотностью $2,13...2,17 \text{ т/м}^3$ и прочностью на одноосное сжатие $10\ 000...25\ 000 \text{ кПа}$

в общей массе скального материала составляют 20% . Для оценки устойчивости откосов плотины, возведенных из горной массы афонитовых известняков, проектом предусмотрены следующие нормы: $\text{tg } \varphi = 0,7$; $C = 0$; модуль деформации – $60\ 000...100\ 000 \text{ кПа}$. Гранулометрический состав горной массы регламентирован требованием (рис. 2).

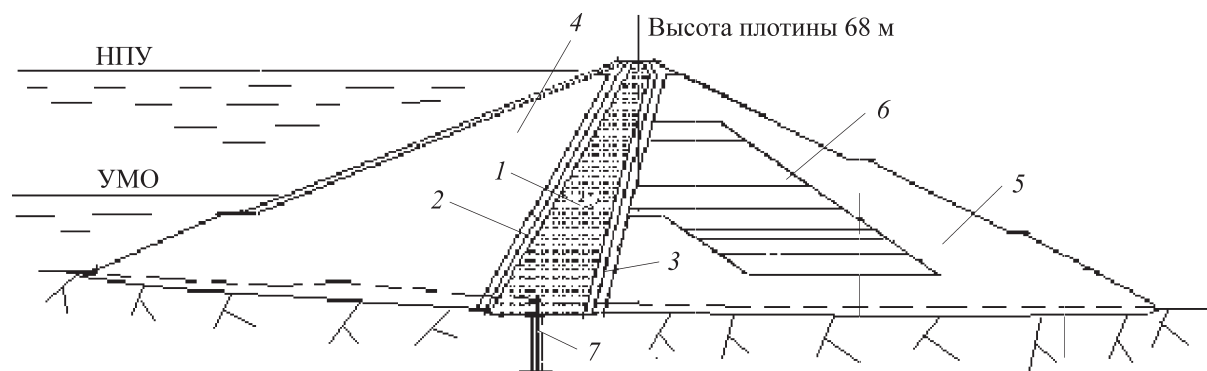


Рис. 1. Плотина «Сахаби»: 1 – ядро; 2 – транзитная зона (обратный фильтр) F_1 ; 3 – транзитная зона (обратный фильтр) F_2 ; 4 – верховая упорная призма; 5 – низовая упорная призма; 6 – зона материала «6»; 7 – противодиффузионная завеса

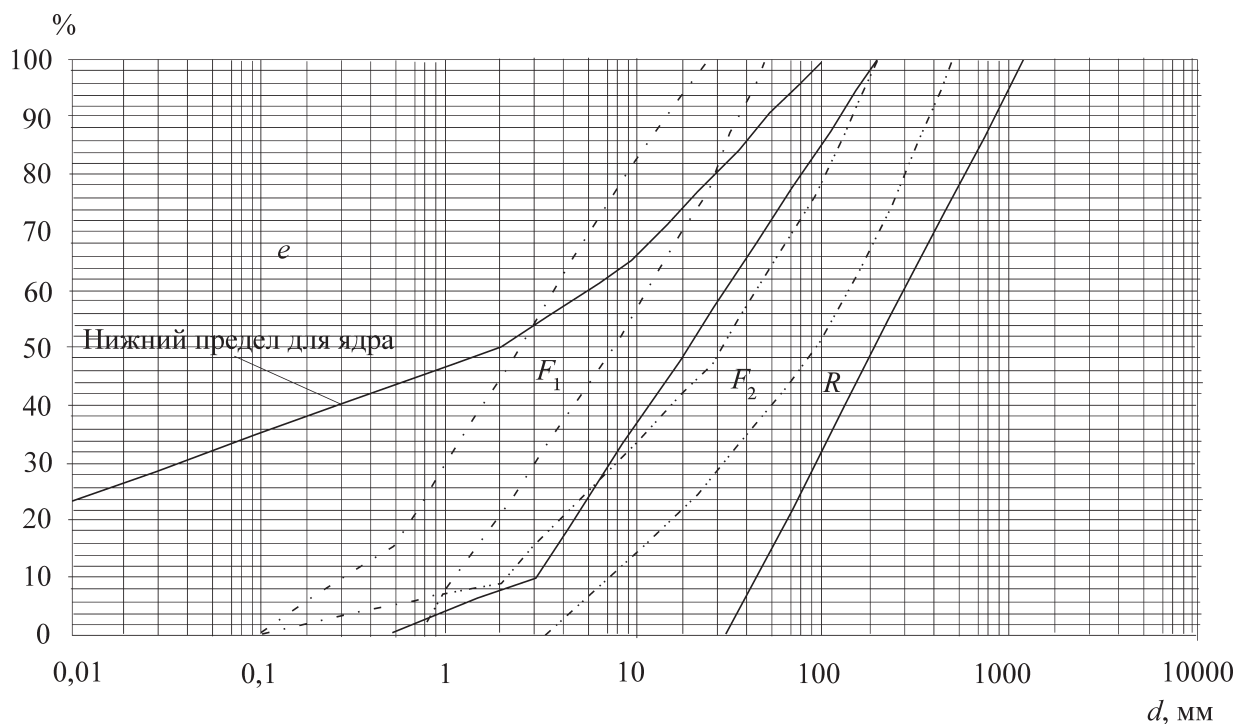


Рис. 2. Гранулометрический состав грунтовых материалов для плотины «Сахаби»: e – зона грансостава для ядра; F_1 – зона грансостава для обратного фильтра « F_1 »; F_2 – зона грансостава для обратного фильтра « F_2 »; R – зона гранулометрического состава для упорных призм (материал «7»)

Кроме того, для устройства низовой упорной призмы в зонах *б* проектом предусмотрено использование горной массы, получаемой при разработке полезных выемок – в основном из соединительного канала, представленной на 40 % глинистыми известняками (при доверительной вероятности 0,95: плотность в сухом состоянии – 2,12 т/м³, прочность на одноосное сжатие – 17200 кПа) и мергелями (при доверительной вероятности 0,95: плотность в сухом состоянии – 1,73 т/м³, прочность на одноосное сжатие в воздушно-сухом состоянии – 9200 кПа, прочность на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии – 6200 кПа, коэффициент размягчения – 0,67). Для данного грунтового материала коэффициент трения, согласно проекту, должен соответствовать $\text{tg } \varphi \geq 0,55$ и $C = 0$.

В процессе производства работ по устройству низовой упорной призмы в зонах *б* была отмечена изменчивость гранулометрического состава грунтового материала из деловых выемок (далее – материал «6») не только при выполнении необходимых технологических операций погрузки-разгрузки, разравнива-

нии на месте укладки и уплотнении катком, но и без всякого технологического вмешательства материал «6» разрушался и превращался в мелкозем: если на начало работ по устройству зон *б* содержание мелкозема (фракций менее 5 мм) составляло до 15 %, то в период полномасштабных работ содержание мелкозема достигало 30 %, а в некоторых случаях – 43 % (рис. 3). При таком прогрессе увеличения содержания мелкозема вполне очевидно его влияние на формирование деформационно-прочностных свойств уложенного грунта. Предварительная оценка прочностных показателей материала «6» в резервах Бейт Яшут и Эль Джвевб для полученных грансоставов отобранных проб, показала предельно допустимые значения. Чтобы избежать несбалансированности грансоставов материала «6», находящегося в указанных резервах, с материалом «7» (основным материалом упорных призм) и, как следствие, недопустимого изменения физико-механических свойств после его укладки в низовую упорную призму, было решено провести полный комплекс работ по изучению свойств материала «6», включая опытную укатку.



Рис. 3. Самопроизвольное разрушение материала деловых выемок (материала «6»)

В присутствии представителей заказчика, подрядчика и проектировщика было проведено опытное уплотнение грунта, отобранного из резерва Бейт Яшут. Параметры опытной насыпи в плане: длина – 10...12 м; ширина – 6...7 м; толщина отсыпаемого слоя грунта – 0,6...0,65 м. Уплотнение грун-

та производилось гладким виброкатком массой 15 т с движением вдоль опытной насыпи для трех вариантов числа проходов катка по одному следу: $N_1 = 12$, $N_2 = 13$, $N_3 = 14$. При каждом варианте уплотнения скорость движения катка для первой и двух последних проходов составляла 1,5...2 км/ч, для

промежуточных – 2,5...3,5 км/ч. Оценка плотности грунта для каждого варианта уплотнения проводилась методом шурфа по схеме – по одной пробе с каждой полови-

ны слоя. Влажность для каждой отобранной пробы определялась по фракциям: < 5 мм; < 50 мм; > 50 мм. Результаты опытного уплотнения сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты опытного уплотнения материала «6»

Толщина слоя уплотнения, см	Число проходок по одному следу	Данные по грунту после уплотнения									Проектная плотность скелета, г/см ³
		№ пробы	Глубина отбора проб, см	Влажность по фракциям, %			U _{60,10}	Плотность грунта, г/см ³	Плотность скелета грунта, г/см ³	Содержание частиц менее 50 мм, %	
				> 50 мм	< 50 мм	< 5 мм					
60	12	1	0...30	7,8	12,2	14,8	16	1,93	1,73	85	> 1,70... 1,72
		2	30...60	10,8	11,5	16,9	34	1,79	1,61	80	
	13	3	0...30	6,8	14,4	16,6	18	1,96	1,73	84	
		4	30...60	8,2	9,5	16,3	28	1,81	1,66	79	
	14	5	0...30	10,7	10,5	17,6	23	1,98	1,79	83	
		6	30...60	8,3	9,3	17,7	15	1,84	1,68	89	

Анализ проведенного опытного уплотнения материала «6» показал следующее.

Толщина слоя грунта после укатки составила 50...55 см, а величина уплотнения грунта в слое – 10...11 см. Такая сжимаемость слоя грунта не является результатом его уплотнения (переупаковки скелета грунта), а связана с размельчением частиц грунта при работе катка по слою (рис. 4).

При каждом варианте числа проходок катка по одному следу требуемая плотность скелета выполняется только для глубины слоя 0...30 см (рис. 5). Это подтверждает, что энергия уплотнения идет в основном на дробление фракций грунта и, как следствие, постоянно меняющийся гранулометрический состав не позволяет достичь требуемой проектом плотности укладки грунта в слое, так как это возможно только при неизменном механическом составе уплотняемого грунта (табл. 2).

Показатели уплотненного материала «6» по плотности, прочности и деформируемости не удовлетворяют минимально-допустимым требованиям проекта, предъявляемым к грунту для низовой упорной призмы плотины (см. табл. 1 и 2). Следовательно, имеются все предпосылки к трещинообразованию в противофильтрационном элементе плотины в результате

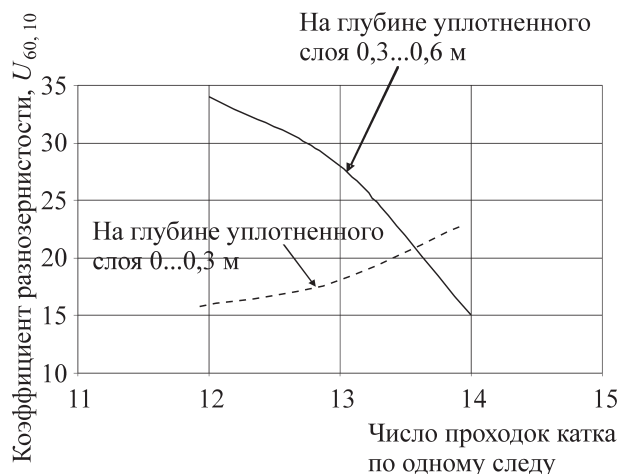


Рис. 4. Зависимость коэффициента разнородности грунта от числа проходок катка по одному следу

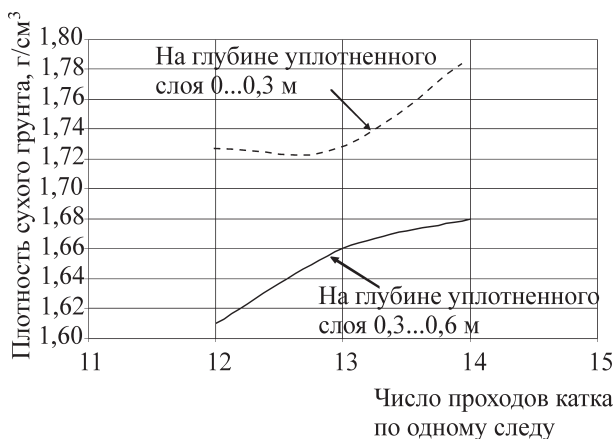


Рис. 5. Зависимость плотности сухого грунта от числа проходок катка по одному следу

неравномерных объемных деформаций зоны 6 (см. рис. 1). И это без учета, как было сказано выше, самопроизвольного размельчения грунта (см. рис. 3).

Вполне закономерно возникает вопрос о целесообразности использования такого грунтового материала в сооружении повышенной ответственности.

Таблица 2
Деформационно-прочностные показатели материала «6»

Число проходок катка по одному следу	По данным опытной укатки					Проектное требование	
	№ пробы	Содержание частиц менее 50 мм, %	φ, град	C, кПа	E _ш , МПа	φ, град	C, кПа
12	1	80,7	25,5	12	31,5	28,8	0
13	3	84,3	26,0	11	32,0		
14	5	87,9	26,0	11	32,0		

В процессе разработки карьера было выявлено несоответствие процентного соотношения между имеющимися в камне афонитовыми и выщелоченными известняками. Заявленная проектом величина 20 % для выщелоченных известняков оказалась явно заниженной. Появились серьезные вопросы по эффективности карьера, а главное – по

наличию в нем необходимого объема каменного материала «7». Поэтому было предложено изучить свойства отходов каменного карьера – некондиционной горной массы, образующейся при производстве материала «7». Анализ проведенных исследований выявил превосходство этой горной массы над грунтом из полезных выемок (над материалом «6») (табл. 3) [2].

Таблица 3
Деформационно-прочностные свойства отходов каменного карьера

Место отбора	№ пробы	Прочность на сжатие, кПа	Содержание мелкозема менее 2 мм, %	Коэффициент разноразмерности U _{60,10}	φ, град	C, кПа	E _ш , МПа
Карьер каменного материала (отвал отходов)	1	10000...35000	25	88	33	7,5	47,0
	2		15	27	35	5,5	48,5
	3		20	58	34	6,5	47,5
	4		15	112,5	34	6,0	48,0
	5		18	40	34	6,0	48,0
	6		28	57	33,5	8,5	46,0

Даже при большем содержании частиц менее 2 мм (в среднем 20,2 %) показатели прочности и деформируемости отходов каменного карьера в сравнении с материалом «6» выше на 35... 50 %. Для предотвращения возможного просыпания мелкозернистой части нового материала для зоны 6 в поры материала «7», более крупного по гранулометрическому составу, отходы каменного материала должны быть регламентированы. Выполненные расчеты по сопряжению механических составов отходов карьера каменного материала

и основного материала упорных призм «7» позволили установить для заменителя материала «6» допустимый верхний предел: $D_3 \geq 1$ мм, $D_{10} \geq 1,5$ мм, $D_{60} \geq 40$ мм, $D_{90} \geq 130$ мм. Укладку этого грунта следует проводить слоями по 0,6 м. Уплотнение необходимо выполнять гладкими виброкатками до плотности сухого грунта не менее 1,92 т/м³.

Выводы

Проведенные исследования и принятые технические решения позволили обеспечить надежную совместную работу низовой упорной призмы с

противофильтрационным элементом, опирающимся на эту призму, тем самым добиться эксплуатационной безопасности плотины в целом, повысить КПД использования карьера каменного материала, улучшить технологичность устройства упорных призм.

1. Проект «Al Sinn». Гидроузел «Al Sakhabu»: пояснит. записка. – М.: Совинтервод, 1996. – 35 с.

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

Материал поступил в редакцию 17.04.10.
Жарницкий Валерий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты»
Тел. 8 (495) 976-48-06
E-mail: zharnitskiy@msuee.ru

УДК 502/504:624.01

П. Ф. САВОДАШ

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

ДИНАМИКА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛИТЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ЛОКАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКЕ

В связи с опасностью аварий строительных конструкций промышленного и гражданского назначения весьма актуальными становятся вопросы динамической прочности и безопасности объектов. С этой целью в качестве модельной задачи выбрана упругая прямоугольная плита, покоящаяся на податливом основании при действии на нее локально распределенной нагрузки заданной интенсивности. Область действия динамической (взрывной) нагрузки тоже прямоугольная; прямолинейные границы этой области параллельны краям плиты. Решение задачи сведено к дифференциальному уравнению четвертого порядка относительно поперечных прогибов точек срезанной поверхности конструкции. Найдено точное решение начальной краевой задачи.

Прямоугольная плита, податливое основание, внутренние силовые факторы напряжения, изгибающие моменты ряда Фурье, граничные и начальные условия.

In connection with the danger of breakages of industrial and civil structures questions of dynamic strength and safety of objects become quite actual. With this purpose a rectangular plate is chosen as a model problem, the plate is based on the compliant foundation under the action of the locally distributed load of the given intensity. The area of action of the dynamic (blast) load is also rectangular; linear borders of this area are parallel to the plate edges. The problem solution is brought to the differential equation of the fourth order relating to transverse sagging of the points of the cut surface structure. The exact solution of the initial boundary problem is found.

Rectangular plate, compliant foundation, internal stress factors, bending moments of Fourier series, boundary and initial conditions.

Практика расчетов и проектирование современных инженерных сооружений и конструкций требует развития новых моделей и методов строительных

объектов, воспринимающих взрывные, ударные и сейсмические нагрузки. Здесь важно максимально снизить ущерб от рассматриваемых воздействий