

DOI: 10.34031/article\_5d35d0b7694ea7.79490804

<sup>1,\*</sup>Салямова К.Д., <sup>1</sup>Турдикулов Х.Х., <sup>2</sup>Мифтахова И.Р.<sup>1</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУ  
Узбекистан, 185100, г. Ташкент, Академгородок, ул.Дурмон йули, 33<sup>2</sup>АО «Гидропроект»

Узбекистан, 100000, г. Ташкент, ул.Бабура, 20

\*E-mail: klara\_51@mail.ru

## РАСЧЕТ ВЫСОКОЙ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ (С УЧЕТОМ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ)

**Аннотация.** В связи с широкомасштабным проектированием, строительством и эксплуатацией грунтовых гидротехнических сооружений (грунтовых плотин) в республике Узбекистан, которая является сейсмической зоной, перед исследователями ставится задача постоянного усовершенствования методов их расчета на основные нагрузки (силы гравитации, гидростатика), как предусмотрено нормами проектирования. Аварии или повреждения водоподпорных сооружений (грунтовых плотин) может привести к катастрофическим последствиям. На основе разработанного комплекса прикладных программ произведен статический расчет плоских моделей грунтовых плотин на жестком и податливом основании, с учетом конструктивной неоднородности под действием собственного веса и гидростатического давления на верховой откос. При расчете использована конечно-элементная дискретизация моделей. Достоверность и сходимостъ получаемых результатов показана на тестовом примере. Численные расчеты проведены на примере Чарвакской грунтовой плотины. На основе разработанных программ проведены расчеты и исследовано влияние податливости основания на напряженно-деформированное состояние грунтовой плотины под собственным весом. Исследования напряженно-деформированного состояния грунтового сооружения выявили нарушение прочности в центральной части неоднородной грунтовой плотины вблизи ядра и примыкающих к нему зонах (эффект зависания), на части поверхности и у подножия боковых откосов, независимо от податливости основания.

Выявлено, что рассеивание порового давления в глинистом ядре каменно-земляной плотины Чарвакской ГЭС происходит очень медленно, что может способствовать формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося по времени.

**Ключевые слова:** Каменно-земляная плотина, ядро плотины, напряжение, поровое давление, данные натуральных наблюдений, Чарвакская грунтовая плотина.

**Введение.** Проектирование высоких плотин – (Пскемской высотой 200 м), строительство (Рогунской высотой 336 м) и эксплуатация высоких плотин – какими являются Нурекская высота 300 м, Туполангская высота 180 м, Чарвакская высота 168 м, Гиссаракская высотой 138 м создает повышенную опасность для нижних бьефов гидроузлов. Проектирование и строительство таких плотин также требует внимания к длительным процессам, происходящим в их теле и влияющим на качество строительства [1]. Так, известны катастрофы, имевшие место при разрушении арочной плотины Мальпасае во Франции или при оползне в водохранилище арочной плотины Вайонт в Италии, разрушении земляной плотины Титон в США. В недавнем прошлом в 2017 г. была паника в Калифорнии (США) при появлении угрозы разрушения плотины Оровилл, из поселений вблизи плотины было эвакуировано более 200 000 жителей. Всё это говорит о необходимости выполнения требований безопасности плотин и в том числе безопасности грунтовых плотин.

Натурные наблюдения за грунтовыми плотинами проводятся для анализа работоспособности сооружений. Сопоставлением расчётов – фильтрации, порового давления в материале ядра, осадки, смещения с натурными наблюдениями по этим параметрам в плотине оценивается качество возведения плотины.

Сопоставление результатов натуральных наблюдений и проведенных расчетов позволяет усовершенствовать расчетную методику, вносить в нее изменения, а также составлять прогнозные модели для анализа поведения гидротехнического сооружения во времени.

Натурными наблюдениями за фильтрацией, поровым давлением, осадками и смещением плотины с ядром (высокими) стали заниматься в период строительства грунтовых плотин после пятидесятих годов прошлого века. Публикации следующих авторов, бывшего СССР связаны с натурными данными за осадками в плотинах и поровым давлением. Среди них можно отметить работы: Анискина Н.А. [2, 3], Леднева М.Н. [4], Никитина В.П. [5].

В этих работах констатируется, что натурные данные высоких и сверхвысоких каменно-земляных плотин, такие как осадки, горизонтальные смещения, напряжения, поровое давление, сравнительно редки. Приводятся осадки и горизонтальные смещения за 40 лет на самой высокой в мире Нурекской плотине, анализируется обзор публикаций, посвящённых натурным наблюдениям за плотинами и сопоставлены результаты с натурными данными Нурекской ГЭС для оценки качества возведения плотины по сравнению с другими плотинами, построенными в бывшем СССР и за рубежом.

Целью настоящей работы в целях безопасной и устойчивой работы грунтовой плотины является сопоставление результатов численного расчета напряженного состояния грунтовой плотины с ядром при основных нагрузках (силы гравитации, гидростатическое давление) с данными натурных наблюдений по поровому давлению. Численный расчет произведен методом конечных элементов в плоской упругой постановке. В качестве примера расчета выбрана высокая Чарвакская грунтовая плотина. Результаты решения задачи напряженного состояния сравнены с данными натурных наблюдений по поровому давлению в ядре плотины. Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) массивного грунтового сооружения – грунтовой плотины при

основных нагрузках должно сочетать в себе учет конструкционной неоднородности и податливости основания. Кроме того, являясь элементом гидротехнического узла, плотина испытывает и значительное гидростатическое давление.

Предварительно проверялась достоверность и сходимости результатов решения статической задачи о напряженно-деформированном состоянии плоской модели Чарвакской плотины с учетом собственного веса при различной степени дискретизации.

**Постановка задачи.** Рассматривается плоско-деформируемая модель (поперечное сечение) грунтовой плотины, находящейся на упругом основании. Сооружение рассматривается при статическом (собственный вес, гидростатическое давление воды) нагружении. Учитывается неоднородный состав грунта тела плотины (наличие ядра).

Для расчета такой модели используется численный метод конечных элементов, основанный на вариационном принципе возможных перемещений, а при динамике – совместно с принципом Даламбера.

Для исследования напряженно-деформированного состояния модели «плотина – основание» под собственным весом применяется вариационное уравнение [6–8]

$$\delta A = \delta A_{\sigma} + \delta A_p + \delta A_P = - \int_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \int_V \rho g \delta v dV + \int_S \gamma h \delta v dS = 0 \quad (1)$$

Интегралы, входящие в (1) представляют: первый – работа сил упругости, второй – массовых сил ( $\rho g$ ) и третий – гидростатическое давление на поверхность верхового откоса.

В отсутствии гидростатики поверхность боковых откосов и гребень плотины – свободны от нагрузок, тогда статические граничные условия на этих поверхностях представляются в виде

$$\sigma_{ij} n_j = 0, \quad (2)$$

где  $n$  – вектор нормали к поверхности.

Учет же гидростатики на поверхности верхового откоса плотины, находящейся в однородной несжимаемой жидкости водохранилища, сводится к заданию на поверхности откоса давления, линейно возрастающего с глубиной

$$p = \rho g z, \quad (3)$$

где  $z$  – глубина, отсчитываемая от свободной поверхности воды;  $g$  – ускорение свободного падения.

Граничные условия на нижней границе основания – жесткие, что выражается в отсутствии

здесь горизонтальных и вертикальных возможных перемещений:

$$y=0: \quad \delta u|_{y=0} = 0; \quad \delta v|_{y=0} = 0. \quad (4)$$

На шарнирно-подвижных (в вертикальном направлении) боковых границах основания не допускаются горизонтальные перемещения контурных точек (только вертикальные). Граничные условия здесь будут:

$$\begin{aligned} \delta u|_{x=0} = 0 \quad \delta v|_{x=0} \neq 0; \\ \delta u|_{x=l} = 0 \quad \delta v|_{x=l} \neq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Для получения разрешающей системы уравнений в ходе конечно-элементной дискретизации элементы объединяются в узловых точках, перемещения которых является решением вариационного уравнения (1), реализующим экстремум (минимум) функционала работы. Полученная при этом разрешающая система уравнений имеет вид

$$[K] \{u\} = [M] \{g\} + \{P\} \quad (6)$$

где  $[K]$ ,  $[M]$  – матрицы жесткости и массы всей модели, формирующаяся из матриц жесткости

отдельных элементов;  $\{u\}$  – искомый вектор узловых перемещений;  $g$  – ускорение свободного падения ( $g=9,8 \text{ м/с}^2$ ); вектор  $\{P\}$  – вектор нагрузки, вызванной гидростатическим давлением на верховой откос.

**Методология.** Согласно разработанной методике и алгоритмов решения задач численным методом (методом конечных элементов) по полученным в ходе решения системы (6) перемещениям  $\{u\}$  узловых точек модели, определяются с использованием аппроксимирующих функций, перемещения внутри каждого элемента, а затем деформации в элементах – при помощи уравнений Коши [6–8].

В ходе решения системы линейных алгебраических уравнений (6) методом Гаусса определяется вектор узловых перемещений  $\{u\}$ , затем по

ним деформации и, наконец, компоненты напряжений в элементах модели плотины и основания.

**Основная часть.** Проверялась сходимость решения задачи при различной степени дискретизации модели на примере Чарвакской плотины (табл. 1).

Размеры плотины в расчетах принимались: высота – 168 м; коэффициенты заложения откосов 2,2, ядра – 0,2. Физико-механические параметры грунта призм  $E=3500 \text{ МПа}$ , плотность  $\rho=1800 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент Пуассона  $\mu=0,3$ . Параметры грунта ядра:  $E=3000 \text{ МПа}$ , плотность  $\rho=1700 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент Пуассона  $\mu=0,3$ , коэффициенты наклона 0,2. Учитываемая глубина основания  $h=30 \text{ м}$ , физико-механические параметры грунта, такие же, как в откосах.

Таблица 1

Сходимость вертикальных напряжений  $\sigma_v$  при различном числе разбиений

№ изобар	Количество разбиений модели по высоте, N					
	4	11	17	21	31	41
$\sigma_{\text{мин}}$	-0,335	-0,335	-0,335	-0,335	-0,335	-0,335
1	-0,507	-0,344	-0,316	-0,297	-0,277	-0,27
2	-0,679	-0,572	-0,557	-0,544	-0,531	-0,527
3	-0,851	-0,799	-0,799	-0,790	-0,784	-0,784
4	-1,02	-1,03	-1,04	-1,04	-1,04	-1,04
5	-1,19	-1,25	-1,28	-1,28	-1,29	-1,30
6	-1,37	-1,48	-1,52	-1,53	-1,55	-1,56
7	-1,54	-1,71	-1,76	-1,78	-1,80	-1,81
8	-1,71	-1,94	-2,00	-2,02	-2,05	-2,07
9	-1,88	-2,16	-2,24	-2,27	-2,31	-2,33
$\sigma_{\text{макс}}$	-2,05	-2,05	-2,48	-2,48	-2,48	-2,48

Представленные в табл. 1 значения вертикальных напряжений на соответствующих изобарах, их максимальные и минимальные значения при различном числе разбиений (построчно) наглядно демонстрируют процесс сходимости решения.

По описанной процедуре метода конечных элементов были произведены расчеты напряженно-деформированного состояния Чарвакской плотины и исследовано влияние учета основания

на компоненты напряжений и запас прочности в откосах и теле плотины при основных статических нагрузках от веса и гидростатики.

Результаты представлены на рис. 1–5, где одинаковыми цифрами обозначены изолинии с одинаковыми значениями соответствующих компонент напряженно-деформированного состояния плотины на жестком (а) и податливом (б) основании.

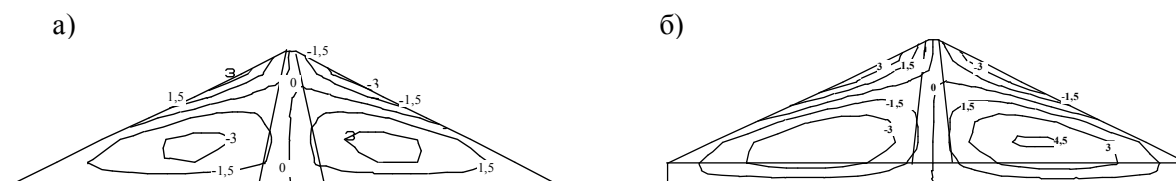


Рис. 1. Изолинии горизонтальных перемещений плотины на жестком (а) и податливом (б) основании под собственным весом, мм

Распределение изолиний горизонтальных перемещений показывает, что центральная ось плотины под собственным весом - вертикальна (по центру горизонтальные перемещения отсутствуют), а наибольшие горизонтальные смещения

( $\pm 3$  мм) наблюдаются в верхних частях верхового и низового откосов. Максимальные горизонтальные смещения составляют здесь всего 3–4 мм. При этом влияние податливости основания незначительно.

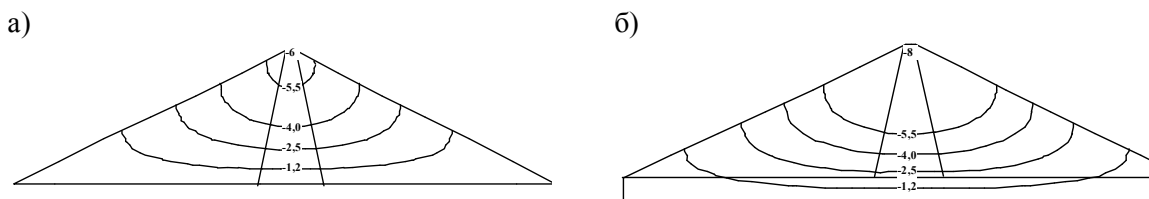


Рис. 2. Изолинии вертикальных перемещений плотины на жестком (а) и податливом (б) основании под влиянием собственного веса, см

Вертикальные перемещения (рис. 2) сооружения под собственным весом на порядок превышают горизонтальные и достигают максимальных значений (около 6 см) на гребне плотины, а с учетом податливости основания просадка плотины увеличивается до 8 см.

правой частей сооружения (рис. 1, 2). Причем, в основном, такая деформация (горизонтальное растяжение) наблюдается в верхней трети сооружения, что может привести здесь к потере прочности.

Полученные горизонтальные (рис. 1) и вертикальные (рис. 2) перемещения плотины указывают, что сооружение под собственным весом сплющивается (гребень опускается, откосы выпучиваются), о чем свидетельствуют значительные вертикальные перемещения гребня и различные знаки горизонтальных перемещений левой и

Компоненты напряженного состояния – нормальные горизонтальные, вертикальные и касательные напряжения в теле плотины, находящейся под собственным весом, показаны на рис. 3–5. Значения напряжений на изолиниях даны в размерности МПа.

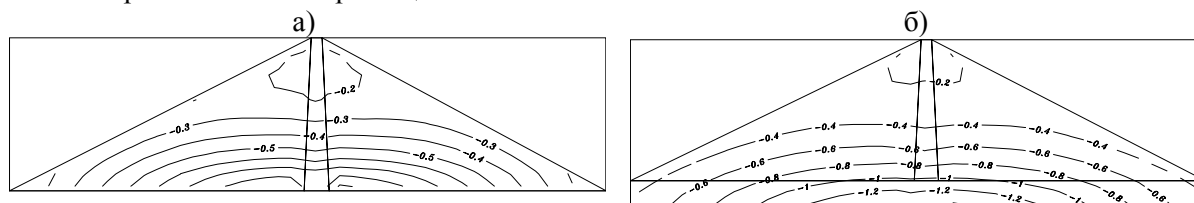


Рис. 3. Распределение изолиний горизонтальных напряжений в плотине на жестком (а) и податливом основании (б) под собственным весом, МПа

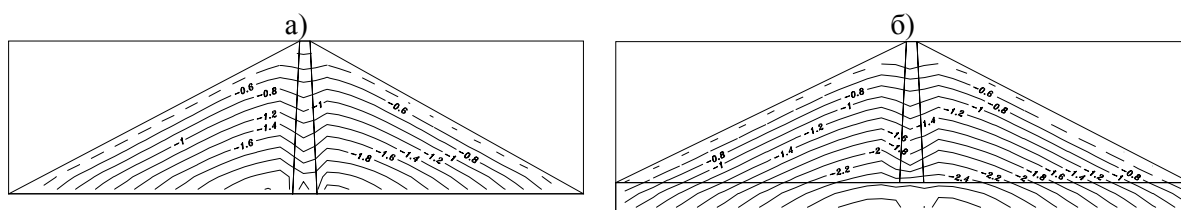


Рис. 4. Изолинии вертикальных напряжений в плотине на жестком (а) и податливом (б) основании под собственным весом, МПа.

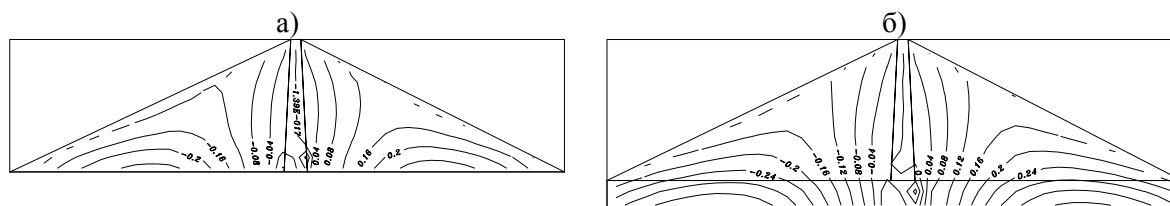


Рис. 5. Изолинии касательных напряжений в плотине на жестком (а) и податливом (б) основании под собственным весом, МПа

Распределение компонент перемещений (рис. 1–2) и напряжений (рис. 3–5) плоского симметричного сооружения на жестком (а) и подат-

ливом (б) основании, находящегося под действием симметричной – относительно вертикальной оси – нагрузки (собственного веса) также симметричны и по характеру совпадает с ранее

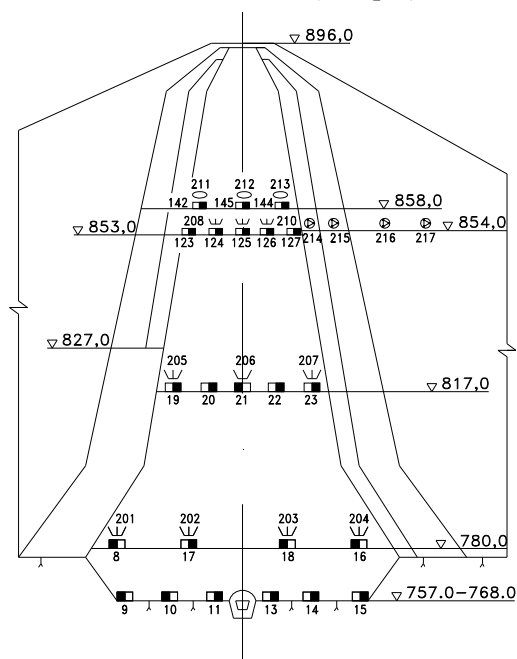
полученными [9, 10], что свидетельствует о достоверности полученных результатов. Податливое основание, являющееся естественным продолжением сооружения, воспринимает на себя напряжения, превосходящие напряжения верхней части. В теле самой плотины – и на податливом основании и на жестком – соответствующие компоненты напряжения практически одинаковы.

Отличием являются вертикальные перемещения плотины под собственным весом: в центральной части плотины на податливом основании (8 см) они почти в полтора раза превосходят перемещения в тех же точках сооружения с жестким основанием (6 см) (рис. 2). Объяснением этому могут служить дополнительные вертикальные смещения основания под весом сооружения.

Расчет плотины, являющейся частью гидротехнического узла, необходимо производить с учетом влияния гидростатического давления на верховой откос. Давление  $P$  действует по нор-

мали к поверхности верхового откоса и определяется функцией, линейно изменяющейся с глубиной  $h$ , и представлено формулой  $P=\gamma h$ , где  $\gamma$  – удельный вес воды.

В связи с тем, что в Узбекистане большинство высоких каменно-земляных плотин возводятся с суглинистым ядром, содержащим поры в глинистом грунте, следует учитывать поровое давление, возникающее при наполнении водохранилища и эксплуатации гидросооружения. Поровое давление рассчитывается различными методами, а также с учетом и без учета консолидации грунта. Далее приводятся результаты расчета напряженно-деформированного состояния грунтовой плотины с учетом порового давления при наполнении водохранилища. При расчете был рассмотрен створ 6 Чарвакской плотины и его показания на различных уровнях по заложенным приборам (пьезодинамометрам) во время строительства. Схема расположения грунтовых динамометров и пьезодинамометров в плотине (створ 6) показана на рис. 6.



Условные обозначения:

- – пьезодинамометр
- ┄ – розетка грунтового динамометра
- ⊗ – ДКН (динамометр каменной наброски)
- – ЭДНГ (эластичный грунтовой динамометр напряжений)

Рис. 6. Уровни расположения грунтовых динамометров и пьезодинамометров в ядре плотины.

В настоящее время имеется ряд методов расчета консолидации трехфазных грунтов, направленных для определения осадок и порового давления в ядрах [10].

На рис. 8 показаны результаты теоретических расчетов и данных натуральных наблюдений по поровому давлению в одном из створов, где имеется прибор, установленный в начале строитель-

ства Чарвакской плотины. Для расчётов [10] авторы приняли среднюю компрессионную кривую, полученную для материала ядра плотины (суглинка).

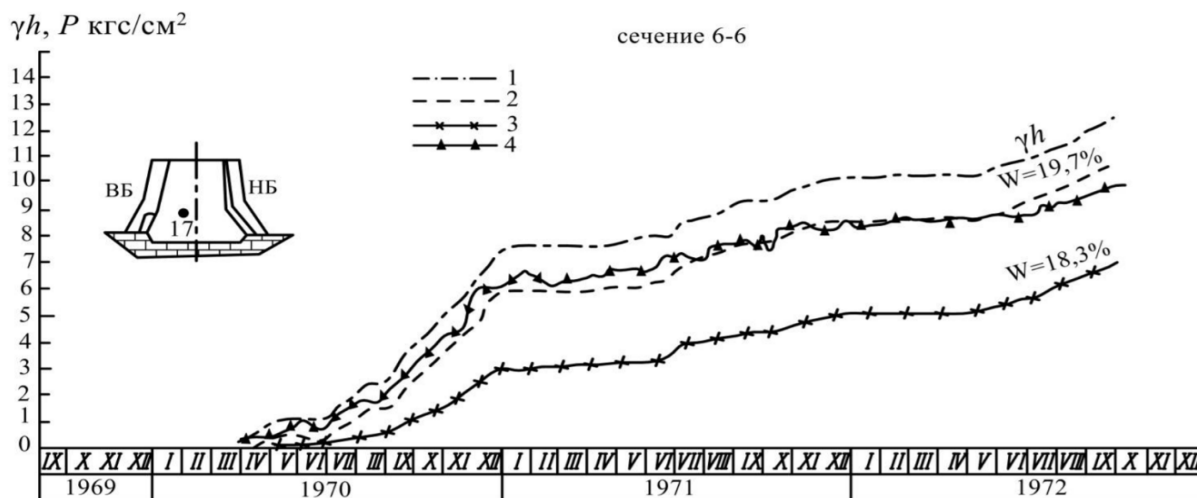


Рис. 7. График порового давления в ядре Чарвакской плотины 1 – напряжения  $\sigma_y = \gamma h$ ; по расчёту: 2 –  $W=19,7\%$ ; 3 –  $W=18,3\%$ ; по натурным данным, 4 – по датчику порового давления №17 [10]

Изменение во времени показателей порового давления (срок эксплуатации плотины более 40

лет) по данным натурных наблюдений, предоставленных АО «Гидропроект» показано на рис. 8.

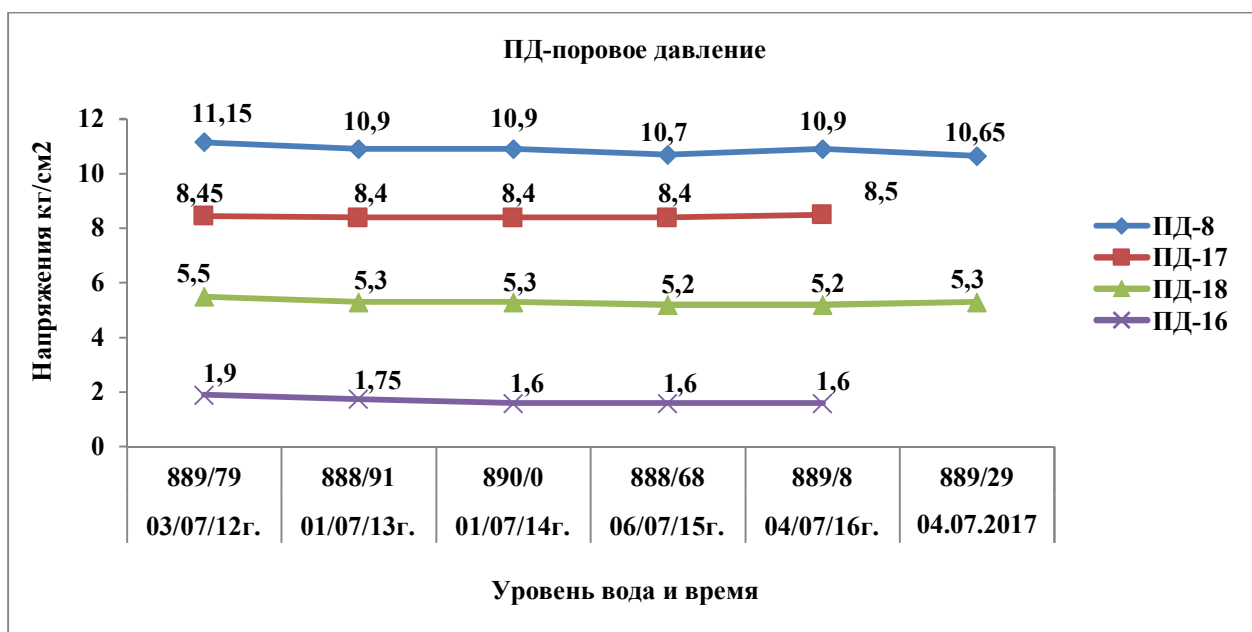


Рис. 8. Изменение порового давления в ядре грунтовой плотины по времени эксплуатации

Сопоставляя рис. 7 и рис. 8 изменение порового давления по времени в начале строительства и более 40 лет эксплуатации грунтовой плотины в соответствии с имеющимися данными натурных наблюдений по показаниям пьезодинамометров, предоставленных АО «Гидропроект» делаем вывод, что поровое давление в ядре еще присутствует и процесс консолидации

грунта к 2019 году еще не завершился. Однако, распределение его в ядре плотины не равномерно. Рассмотрим это на примере створа №б (рис. 8).

В основном, понижение порового давления по времени отмечается на отметке 780,0 м. (приборы №№ 8, 16, 17, 18), а также в основании

вблизи потерны со стороны нижнего бьефа (прибор №13).

На отметке 817,0 м понижение порового давления ощущается со стороны нижнего бьефа (приборы №№22, 23).

На отметке 853,0 м со стороны нижнего бьефа поровое давление не изменяется во времени, также, как и на отметке 858,0 м.

Увеличение во времени порового давления ощущается в основании плотины вблизи ядра со стороны верхнего бьефа и на отметках 817,0 м, 853,0 м также со стороны верхнего бьефа.

Все это доказывает, что остаточное поровое давление присутствует на этих отметках и образует ядро порового давления, а процесс консолидации происходит на отметке 780,0 м., которая, как заметно на рис. 7, находится практически в основании плотины, но выше основания ядра. Следовательно, на этой отметке происходит максимальное давление от ядра плотины, упорных призм и, соответственно напора в водохранилище.

Следовательно, в глинистом ядре каменно-земляной плотины Чарвакской ГЭС рассеивание порового давления происходит очень медленно, что может способствовать формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося по времени [1]. По мере рассеивания порового давления могут ухудшаться условия фильтрации воды в отдельных зонах ядра и на контакте ядра с основанием плотины.

**Выводы.** Разработан комплекс программ для статического расчета плоских моделей грунтовых плотин на жестком и податливом основании, с учетом конструктивной неоднородности под действием собственного веса и гидростатического давления на верховой откос. При расчете использована конечно-элементная дискретизация моделей. Достоверность и сходимость получаемых результатов показана на тестовом примере. На основе разработанных программ проведены расчеты и исследовано влияние податливости основания на напряженно-деформированное состояние грунтовых плотин под собственным весом:

- податливость основания, придавая дополнительные вертикальные смещения сооружению, увеличивает вертикальные перемещения (почти в два раза) и компоненты напряженного состояния центральной части плотины под собственным весом. При этом максимальные напряжения распределяются в самом основании.

Исследования напряженно-деформированного состояния грунтового сооружения выявили нарушение прочности в центральной части неод-

нородной грунтовой плотины вблизи ядра и прилегающих к нему зонах, на части поверхности и у подножия боковых откосов, независимо от податливости основания.

Рассеивание порового давления в глинистом ядре каменно-земляной плотины Чарвакской ГЭС происходит очень медленно, что может способствовать формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося по времени [1]. По мере рассеивания порового давления могут ухудшаться условия фильтрации воды в отдельных зонах ядра и на контакте ядра с основанием плотины и поэтому в действующем нормативном документе «Плотины из грунтовых материалов» предусмотрены правила учета порового давления при расчетном обосновании проектов плотин.

При проектировании высоких каменно-земляных плотин в Узбекистане в ядре плотины следует в составе КИА обязательно закладывать датчики преобразования порового давления (пьезодинамометры) для учета порового давления в процессе консолидации суглинка ядра.

При расчетах устойчивости откосов плотин используются необходимые параметры грунтов тела плотины в виде сцепления, угла внутреннего трения, удельного веса в сухом и насыщенном состоянии. Данные параметры при долговременной эксплуатации могут меняться и в первую очередь с развитием консолидации и деформаций ядра и тела плотины, в процессе которых одну из основных ролей играет поровое давление.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверьянов В.Н., Борткевич В.С. О способах снижения порового давления в глинистых ядрах каменно-земляных плотин // Природообустройство. Научно-практический журнал. М. РГАУ-МСХА. №3. 2016. С. 8–14.
2. Анискин Н.А., Рассказов Л.Н., Ядгоров Ё.Х. Фильтрация и поровое давление в ядре каменно-земляной плотины // Гидротехническое строительство. 2016. №6. С. 16–22.
3. Анискин Н.А., Рассказов Л.Н., Ядгоров Ё.Х. Фильтрация, поровое давление и осадки от консолидации сверхвысокой плотины // Гидротехническое строительство. 2016. №10. С. 39–44.
4. Леднев М.А., Шашкова Э.Г., Сатановский С.Г. Результаты натурных наблюдений за напряженно-деформируемым состоянием плотины Чарвакской ГЭС в строительный период // В сб. 3-е Науч.-техн. совещ. Гидропроекта по подведению итогов научн.исслед. работ в обл.энерг. и водохоз. Стр-ва за девятую пятилетку и рассмотрению задач десятой пятилетки.

1976. Тезисы докл. и сообщ. Ч.1. М. 1976. С. 112–114.

5. Никитин В.М. Долгосрочный прогноз осадок каменно-набросных плотин. Тр. Ташкент ин-та инж. ирригации и механиз.с.х. 1973. Вып. 55. С. 118–121.

6. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975, 542 с.

7. Постнов В.А., Хархурим И.Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. Л.: Судостроение, 1974. 342 с.

8. Саямова К.Д., Руми Д.Ф. Трансформация напряженно-деформированного состояния основания сооружения при неравномерном увлажнении грунта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №5. С. 94–99.

9. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Учеб. Для гидротехн. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1985. 352 с.

10. Гольдин А.Л., Рассказов Л.И. Проектирование грунтовых плотин. М.: Изд-во АСВ, 2001. 384 с.

#### Информация об авторах

**Саямова Клара Джаббаровна**, доктор технических наук, профессор. E-mail: klara\_51@mail.ru. Институт механики и сейсмостойкости сооружений. Узбекистан, 185100, Ташкент, ул. Дурмон йули, д. 33.

**Турдикулов Хусанбой Худойназарович**, младший научный сотрудник. Институт механики и сейсмостойкости сооружений. Узбекистан, 185100, Ташкент, ул. Дурмон йули, д. 33.

**Мифтахова Ирина Рафиковна**, главный специалист. АО «Гидропроект». Узбекистан, 100000, г. Ташкент, ул. Бабура д. 20.

Поступила в марте 2019 г.

© Саямова К.Д., Турдикулов Х.Х., Мифтахова И.Р., 2019

<sup>1,\*</sup>*Salyamova K.D.,* <sup>1</sup>*Turdikulov Kh.Kh.,* <sup>2</sup>*Miftahova I.R.*

<sup>1</sup>*Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of the Republic of Uzbekistan Uzbekistan, 185100, Tashkent, st. Durman, 33*

<sup>2</sup>*АО «Gidroproekt»*

*Uzbekistan, 100000, Tashkent, st. Babur, 20*

*\*E-mail: klara\_51@mail.ru*

## CALCULATION OF HIGH EARTHEN DAM TAKING INTO ACCOUNT THE STRESSED CONDITION AND PORE PRESSURE (CONSIDERING THE DATA OF NATURAL OBSERVATIONS)

**Abstract.** Large-scale design, construction and operation of groundwater structures (dams) in the seismic zone of the Republic of Uzbekistan challenges researchers with the task of continually improving methods for calculating the basic loads (gravitational forces, hydrostatics), as provided by the design standards. Accidents or damage to water supporting structures can lead to catastrophic consequences. Static calculation of plane models of earthen dams on a rigid and pliable base is made on the basis of the developed set of applied programs. It takes into account the structural heterogeneity under its own weight and hydrostatic pressure on the upper slope. Finite element discretization of models is used in the calculation. The accuracy and convergence of the results obtained is shown in a test example. Numerical calculations are performed on the example of Charvak earthen dam. On the basis of developed programs, calculations are carried out and the effect of the base compliance on the stress-strain condition of the earthen dam under its own weight is investigated. Studies of the stress-strain condition of a soil structure revealed a violation of strength in the central part of a heterogeneous soil dam near the core and adjacent areas, on a part of the surface and at the foot of the side slopes, regardless of the base flexibility. It is shown that pore pressure dispersion in the clay core of the stone-earthen dam of the Charvak Hydroelectric Station is very slow. This may contribute to the formation of an unfavorable stress-strain condition of the dam, which changes over time.

**Keywords:** Stone-earthen dam, core of the dam, stress, pore pressure, field data, Charvak earthen dam.

### REFERENCES

1. Averyanov V.N., Bortkiewicz V.S. On ways to reduce pore pressure in the clay cores of stone-earth dams [О способе снижения порового давления в глинистых ядрах каменно-земляных

плотин]. Environmental Engineering. Scientific and practical journal. M. RGAU-ICCA. 2016. No. 3. Pp. 8–14. (rus)

2. Aniskin N.A., Rasskazov L.N., Yadgorov Yo.H. Filtration and pore pressure in the core of a stone-earthen dam [Фильтрация и поровое давление в



yadre kamenno-zemlyanoj plotiny ]. Hydraulic Engineering. 2016. No. 6. Pp. 16–22. (rus)

3. Aniskin N.A., Rasskazov L.N., Yadgorov Yo.H. Filtration, pore pressure and sediments from the consolidation of ultra-high dam [*Fil'traciya, porovoe davlenie i osadki ot konsolidacii sverhvysokej plotiny*]. Hydraulic Engineering. 2016. No. 10. Pp. 39–44. (rus)

4. Lednev M.A., Shashkova E.G., Satanovsky S.G. Results of field observations of the stress-strain state of the Charvak hydroelectric station dam during the construction period [*Rezultaty naturnyh nablyudenij za napryazhenno-deformiruemym sostoyaniem plotiny Charvakskoj GES v stroitel'nyj period* ]. V sb. 3-e Nauch.-tekhnuyu soveshch. Hidroproekta po podvedeniyu itogov nauchn.issled. rabot v obl.energ. i vodohoz. Str-va za devyatuyu pyatiletku i rassmotreniyu zadach desyatoy pyatiletki. 1976. Tezisy dokl. i soobshch.CH.1. M., 1976. Pp. 112–114. (rus)

5. Nikitin V.M. Long-term forecast of sediment of rock fill dams [*Dolgosrochnyj prognoz osadok kamenno-nabrosnyh plotin*]. Tr. Tashkent in-ta inzh.irigacii i mekhaniz. s. h.1973. Issue 55. Pp. 118–121. (rus)

6. Zenkevich O.K. The method of finite elements in the technique [*Metod konechnykh elementov v tekhnike*]. M.: Mir, 1975, 542 p. (rus)

7. Postnov V.A., Kharkhurim I.Ya. The finite element method in the calculations of ship structures [*Metod konechnykh elementov v raschetah sudovykh konstrukcij*]. L.: Shipbuilding. 1974. 342 p.

8. Salyamova K.D., Rumi D.F. The transformation of the stress-strain state of the base of the structure with uneven soil moistening [*Transformaciya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniya sooruzheniya pri neravnomernom uvlazhnenii grunta*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov 2016. No. 5. Pp. 94–99. (rus)

9. Ivanov P.L. Soils and foundations of hydraulic structures [*Grunty i osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij*]. Textbook for gidrotehn. special universities. M.: Higher school. 1985, 352 p. (rus)

10. Goldin A.L., Rasskazov L.I. Design of soil dams [*Proektirovanie gruntovykh plotin*]. Textbook. M.: Publishing House DIA. 2001, 384 p. (rus)

#### Information about the authors

**Salyamova, Klara D.** DSc, Professor Assistant professor. E-mail: klara\_51@mail.ru. Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of the Republic of Uzbekistan. Uzbekistan, 185100, Tashkent, st. Durman uli, 33.

**Turdikulov, Husanboj Kh.** Postgraduate student. Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of the Republic of Uzbekistan. Uzbekistan, 185100, Tashkent, st. Durman uli, 33

**Miftahova, Irina R.** Postgraduate student. AO «Gidroproekt». Uzbekistan, 100000, Tashkent, st. Babur, 20

---

Received in March 2019

#### Для цитирования:

Сальямова К.Д., Турдикулов Х.Х., Мифтахова И.Р. Расчет высокой грунтовой плотины с учетом напряженного состояния и порового давления (с учетом данных натуральных наблюдений) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 24–32. DOI: 10.34031/article\_5d35d0b7694ea7.79490804

#### For citation:

Salyamova K.D., Turdikulov Kh.Kh., Miftahova I.R. Calculation of high earthen dam taking into account the stressed condition and pore pressure (considering the data of natural observations). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 24–32. DOI: 10.34031/article\_5d35d0b7694ea7.79490804