

УДК 502/504:627.82

**В. Н. АВЕРЬЯНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва  
Акционерное общество «Проектно-изыскательское научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ», г. Москва

**В. С. БОРТКЕВИЧ**

Акционерное общество «Проектно-изыскательское научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ», г. Москва

### **О СПОСОБАХ СНИЖЕНИЯ ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ГЛИНИСТЫХ ЯДРАХ КАМЕННО-ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН**

*С целью улучшения качества строительства рассмотрены предлагаемые разными авторами конструктивные способы снижения порового давления в глинистых ядрах каменно-земляных плотин. Показано, что устройство дренажей и других конструкций в глинистых ядрах осложняет фильтрационный режим сооружения, поэтому эти способы не находят широкого применения в гидротехническом строительстве. Снижение порового давления может быть достигнуто путем регулирования физико-механических и фильтрационных свойств глинистого грунта, укладываемого в ядро плотины. В хорошо уплотненном грунте твердой, полутвердой и тугопластичной консистенции образуются структурные связи, воспринимающие на себя часть внешнего давления при передаче его на поровую воду. Наибольшие возможности для достижения поставленной цели возникают при возведении ядра плотины из скелетно-глинистых грунтов с высокой плотностью мелкозема. Возможность варьирования гранулометрическим составом, сжимаемостью и коэффициентом фильтрации скелетно-глинистых грунтов, а также способность к самозалечиванию трещин делают их наиболее надежным средством для снижения порового давления и ускорения консолидации ядра в процессе строительства высоких каменно-земляных плотин. Рекомендуются при изысканиях для обоснования проектов каменно-земляных плотин уделять внимание поиску месторождений скелетно-глинистых грунтов и возможности получения таких грунтов путем создания искусственных смесей.*

*Каменно-земляная плотина, ядро плотины, скальное основание, поровое давление, глинистый грунт, консистенция грунта, скелетно-глинистый грунт, дренаж, мелкозем, коэффициент фильтрации, фильтрационный режим, скважина, сейсмостойкость, уплотнение, сжимающие напряжения.*

**Введение.** Создание водохранилищ на горных реках в сложных инженерно-геологических условиях осуществляется чаще всего путем строительства высоких каменно-земляных плотин с ядром из глинистых грунтов. Задачи проектирования и строительства таких плотин требуют внимания к длительным процессам, происходящим в их теле и влияющим на качество строительства. Одним из таких процессов является возникновение при строительстве порового давления в ядрах из глинистых грунтов, характеризующихся коэффициентом фильтрации, меньшим

чем  $1 \cdot 10^{-7}$  см/с. Существуют различные инженерные решения по снижению порового давления, однако практическая реализация их остается под вопросом. В связи с этим возникает необходимость исследований существующих способов снижения порового давления и выбора наиболее надежного способа с точки зрения эксплуатации плотины.

**Материалы и методы исследований.** Проведен научный анализ существующих инженерных решений по снижению порового давления в ядрах каменно-земляных плотин. На основе выполненного анализа

и обобщения, ранее выполненных исследований свойств глинистых грунтов, даются рекомендации по снижению порового давления путем регулирования физико-механических и фильтрационных свойств грунта, укладываемого в ядро плотины.

Практика строительства показала, что высокое поровое давление в ядре, возникающее в процессе возведения плотины

препятствует своевременной консолидации грунтов тела плотины [1]. Независимо от темпов возведения плотины в ядре формируется поровое давление в пределах 65...100 % от  $\rho h$  (где  $\rho$  – плотность грунта;  $h$  – мощность толщи грунта над точкой измерения). В таблице 1 в качестве примера приведены значения давления в глинистых ядрах нескольких построенных плотин.

Таблица 1

**Поровое давление в глинистых ядрах каменно-земляных плотин**

Наименование плотины	Страна	Высота плотины $H$ , м	Коэффициент фильтрации грунта ядра $K_f$ , см/с	Максимум порового давления в % от $\rho h$
Гепач	Австрия	153	$1 \cdot 10^{-7}$	70...100
Серр-Понсон	Франция	120	$5 \cdot 10^{-7}$	65...90
Кастилетто	Швейцария	74	$1 \cdot 10^{-8}$	100
Им. 15 Хардада	Иран	70	$5 \cdot 10^{-8}$	70...100
Расхауптен	Германия	41	$1 \cdot 10^{-8}$	100

Высокое поровое давление в ядре при строительстве и в начальный период эксплуатации наблюдалось также на Чарвакской плотине в Узбекистане ( $H = 168$  м), на плотине Хаобинь во Вьетнаме ( $H = 105$  м) и на других плотинах.

На Чарвакской плотине, хорошо оснащенной контрольно-измерительной аппаратурой, максимальное значение порового давления было зафиксировано в центральной части ядра и к концу строительства составило 85...90 % от  $\rho h$ . Следует отметить, что такое высокое поровое давление сформировалось, несмотря на относительно низкие темпы укладки грунта в ядро плотины. Рост порового давления с нуля до 85...90 % от  $\rho h$  приборы зафиксировали при укладке толщи грунта над ними до 30...40 м, далее при увеличении высоты плотины поровое давление увеличивалось пропорционально росту нагрузки от выше уложенного грунта.

Следует отметить, что измеренные в теле Чарвакской плотины вертикальные напряжения в грунте оказались несколько меньше  $\rho h$ , а в боковых призмах в примыкании к ядру они настолько же больше  $\rho h$ . Таким образом, имело место зависания ядра на боковых призмах и, следовательно, измеренное поровое давление относительно фактических напряжений в ядре составляло порядка 100 %. Подобная картина наблюдалась только в средней по высоте части ядра. Вблизи основания поровое давление уменьшалось за счет дрениру-

ющего эффекта скального основания. В верхней части ядра поровое давление было также меньше и составляло к концу строительства 30 % от  $\rho h$ .

В общем, в глинистых ядрах каменно-земляных плотин рассеивание порового давления происходит очень медленно, что способствует формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося во времени. При высоком поровом давлении вероятная поверхность обрушения откосов плотины от сейсмических воздействий проходит через ядро, которое оказывает распорное давление на боковые призмы. По мере рассеивания порового давления могут ухудшаться условия фильтрации воды в отдельных зонах ядра и на контакте ядра с основанием плотины. В нормативном документе СП39.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84\* «Плотины из грунтовых материалов» предусмотрены правила учета порового давления при расчетном обосновании проектов плотин.

Неравномерность осадок тела плотины вследствие консолидации ядра и изменения напряженно-деформированного состояния может вызывать образование трещин в ядре и необходимость его ремонта с досыпкой гребня плотины так, как это было, например, на плотинах Гепач в Австрии ( $H = 153$  м), Эль-Инферпильо в Мексике ( $H=148$  м) и др.

Чтобы ускорить рассеивание порового

давления, а значит процесс консолидации глинистого ядра и получить к моменту окончания строительства стабильные напряжения в плотине, существуют предложения по уменьшению ширины ядра и его наклону с созданием понура в нижней части или бетонной пробки для лучшего прижатия ядра к основанию [2]. Известны инженерные решения, в которых, с целью ускорения консолидации тела плотины, внутри ядра размещается дренаж, который выполняется в виде горизонтальных прослоек, не доведенных до его верхней грани или в виде порядно-

го расположения замкнутых полостей (дрен), заполненных несвязным материалом, как это показано на рисунке 1 [3, 4]. Горизонтальные дренажные прослойки, соединенные с переходной зоной между ядром и нижней боковой призмой плотины, снимают напоры воды, возникающие в глинистом грунте ядра по мере роста плотины. А замкнутые полости, заполненные несвязным материалом, снижают поровое давление за счет того, что вода из пор глинистого грунта отдавливается в поры несвязного материала, сжимая находящийся в них воздух.

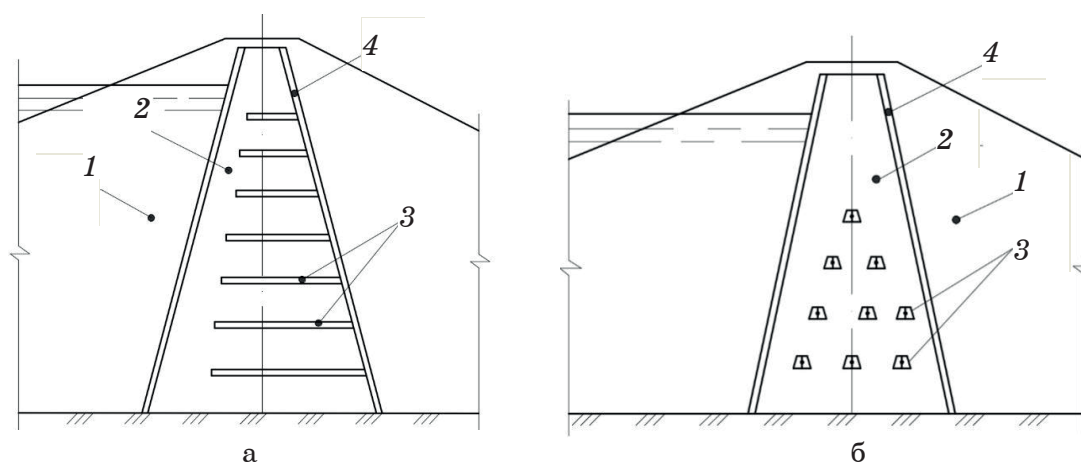


Рис. 1. Дренаж глинистого ядра каменно-земляной плотины, выполненный в виде горизонтальных прослоек (а) и в виде порядного расположения замкнутых полостей (б), заполненных несвязным материалом: 1 – боковые призмы плотины; 2 – глинистое ядро; 3 – дренаж; 4 – переходная зона

При возведении каменно-земляной плотины с ядром из глинистых грунтов повышенной относительно оптимальной влажности НИСом Гидропроекта (ныне АО «НИИЭС» РусГидро) был рассмотрен вариант устройства в ядре дренажной системы с отводом воды, отжимаемой из пор грунта. По этому варианту, основанному на изобретении по авторскому свидетельству 897923 «Плотина из местных материалов», замкнутые дренажные призмы, расположенные поярусно по высоте ядра в продольном направлении, устраивались в зонах предполагаемого развития наибольших пьезометрических напоров поровой воды [5]. Через некоторые интервалы по длине дренажные призмы сопрягались с вертикальными трубами, которые в местах пересечения с призмами имели отверстия для сбора в трубах отжатой в процессе консолидации поровой воды. Роль таких труб-водосборников выполняли трубы глубинных марок, устанавливаемых по высоте ядра.

Внутренний диаметр этих труб составлял 200 мм.

Воду из труб предполагалось удалять с помощью водоотборников, представляющих собой отрезок трубы меньшего диаметра с заглушкой в нижнем конце. Подобным способом обычно удаляется вода из открытых пьезометров для проверки их исправности. Объем отжимаемой из пор грунта воды очень мал, поэтому порционный отбор мог бы вполне обеспечить полное удаление воды из вертикальных труб при периодическом опускании водоотборников в период строительства.

Учитывая, что дрены располагались в зоне наибольших значений порового давления, как это показано на рисунке 2, система представлялась весьма эффективной и должна была обеспечивать быстрое снижение пьезометрических напоров в ядре при строительстве плотины. Однако, при сейсмическом воздействии фильтрационная прочность ядра с такой дренажной системой могла быть уязвима.

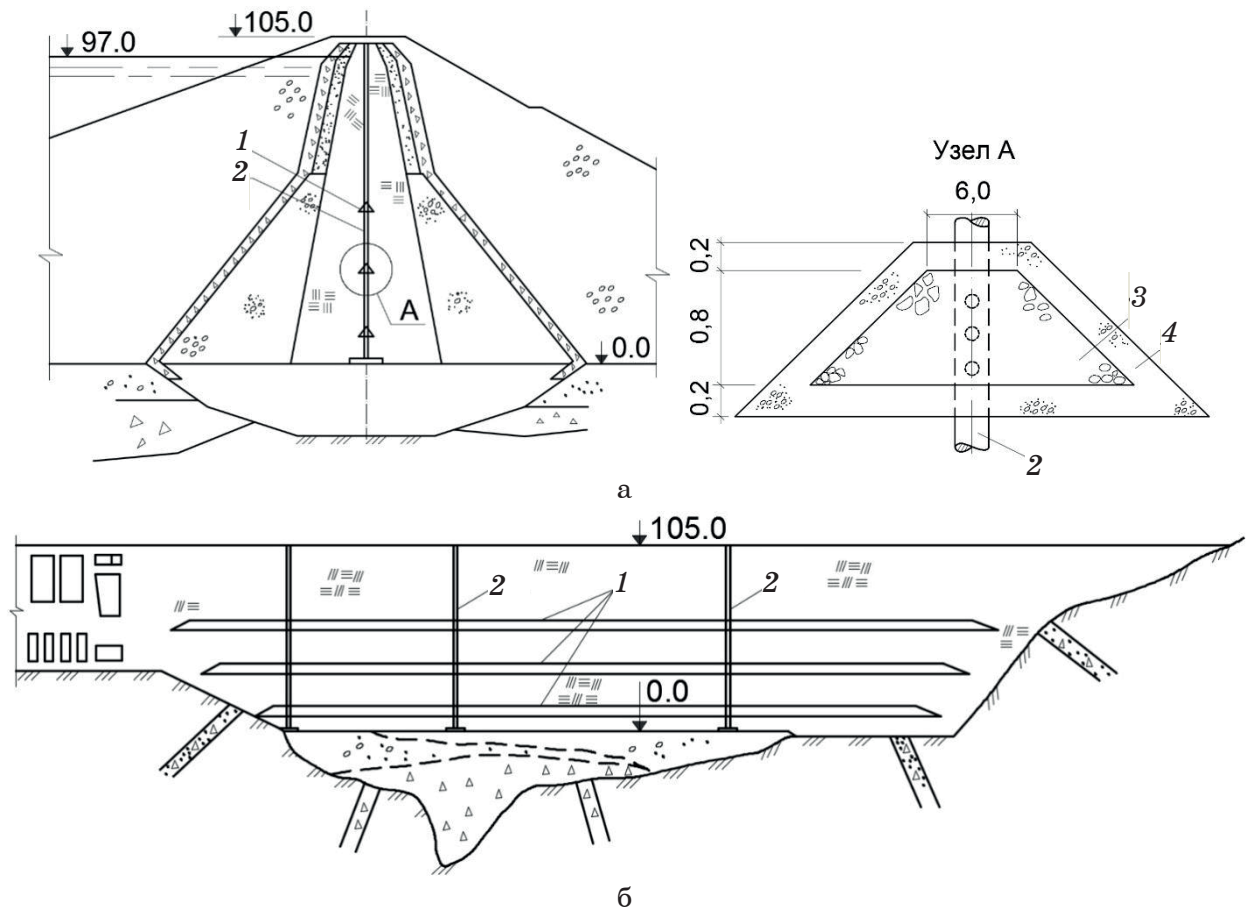


Рис. 2. Дренажная система глинистого ядра каменно-земляной плотины с отводом воды, отжимаемой из грунта: а – поперечное сечение, б – продольное сечение; 1 – дренажная призма; 2 – труба глубинной марки; 3 – горная масса; 4 – обратный фильтр

Менее уязвимой, с точки зрения сохранения фильтрационной прочности ядра при сейсмическом воздействии является конструкция плотины с глинистым ядром, в нижней части которого (по всей его длине) выполняется несколько рядов вертикальных скважин, заполненных пористым материалом, прочность которого превышает прочность глинистого грунта ядра плотины [6]. Ряды скважин располагаются параллельно продольной оси плотины, чтобы не нарушать водонепроницаемость ядра (рисунок 3). Скважины в грунте могут быть заполнены крупнопористым материалом, например, пористым бетоном, песчано-гравийным или гравийно-галечниковым грунтом и др., чтобы вода из глинистого грунта отжималась в поры этого материала, снимая избыточные напоры воды в ядре и повышая его прочность.

Заполняющий скважины материал, диаметр, шаг, глубина и расстояние между рядами скважин назначаются конструктивно или расчетом в зависимости от механических и фильтрационных свойств

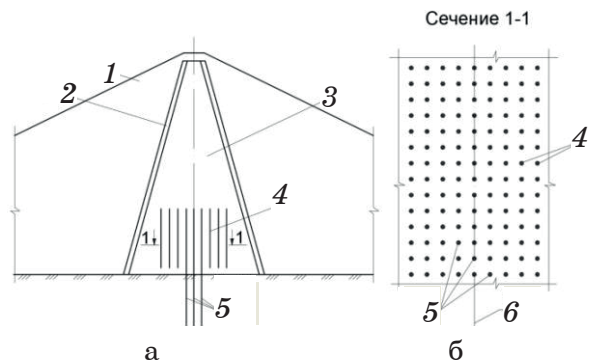


Рис. 3. Ядро каменно-земляной плотины с дренирующими скважинами: а – поперечное сечение; б – план расположения скважин (по сечению 1-1); 1 – боковые призма; 2 – переходная зона; 3 – глинистое ядро; 4 – дренирующие скважины; 5 – скважины цементации основания; 6 – продольная ось плотины

глинистого грунта и высоты плотины. Под действием нагрузки от верхней части ядра или сейсмических сил нижняя часть ядра такой плотины работает как грунтовой массив, укрепленный сваями. Роль свай выполняют скважины, заполнен-

ные материалом более прочным, чем глинистый грунт. Воспринимая на себя основную часть нагрузки, которая распределяется по сооружению пропорционально прочности слагающих его материалов, они укрепляют грунтовый массив и тем самым снижают осадки ядра и повышают сейсмостойкость плотины.

Снижение порового давления и осадок в ядре плотины, повышение его прочности и сейсмостойкости позволяют уменьшить объем строительной досыпки грунтов и вероятность образования трещин в ядре.

Конструктивные способы снижения порового давления в глинистых ядрах плотин так или иначе осложняют фильтрационный режим сооружения, поэтому не находят широкого применения в гидротехническом строительстве.

Известны приемы снижения порового давления путем укладки в ядро плотины глинистого грунта с влажностью значительно меньше оптимальной. Однако грунт, уложенный таким образом, имеет возможность, при эксплуатации сооружения, дополнительного водонасыщения. Водонасыщение грунта в отдельных случаях сопровождается неуправляемым изменением его физико-механических характеристик, увеличением деформаций разуплотнением некоторых зон ядра и может привести к непредвиденным последствиям. Такие явления вызвали необходимость ремонта каменно-земляных плотин Хиттеювей в Норвегии ( $H = 94$ ) м и Боулдерхед в Великобритании ( $H = 48$ ) м.

**Результаты исследований.** Все рассмотренные способы снижения порового давления нарушают фильтрационную однородность ядра и создают некоторую неопределенность для режима эксплуатации плотины, особенно при возможном интенсивном сейсмическом воздействии.

Более надежным способом снижения порового давления, с точки зрения эксплуатации сооружения, является регулирование физико-механических и фильтрационных свойств глинистого грунта при возведении плотины.

Снижение порового давления без нарушения фильтрационной однородности ядра можно достигнуть путем укладки в ядро плотины грунта с высокой плотностью. Высокую плотность глинистого грунта получают уплотнением механизмами с большим удельным давлением на

грунт при консистенции грунта, характеризующейся показателем текучести  $I_L < 0,5$  (от твердой до тугопластичной).

В хорошо уплотненном грунте вышеуказанной консистенции образуются относительно прочные структурные связи, которые воспринимают на себя часть внешнего давления при передаче его на поровую воду.

В качестве показателя, характеризующего влияние структурных связей на процесс консолидации и на распределение давления в поровой жидкости и скелете грунта, обычно принимается коэффициент порового давления, равный отношению максимального порового давления к общему давлению, действующему в грунте. Определение коэффициента порового давления возможно на основе компрессионных испытаний грунтов.

Анализируя результаты компрессионных испытаний водонасыщенных глинистых грунтов, Ю. К. Зарецкий показал, что изменение уплотняющей нагрузки от 0 до 0,7 МПа приводит к уменьшению коэффициента порового давления от 1 до 0,05 [7]. При этом отмечено, чем менее глинистый грунт, тем сильнее проявляется эффект снижения порового давления.

Снижению порового давления и ускорению процесса консолидации в глинистом ядре плотины способствует также наличие в грунте скелета из каменистых включений различной крупности. Содержание в скелетно-глинистом грунте включений крупностью более 5 мм обычно составляет 30...60 %. Максимальная крупность – не более 2/3 толщины уплотняемого слоя. Такой гранулометрический состав грунта способствует и самозалечиванию трещин в случае их образования. Схема выбора начального состояния скелетно-глинистого грунта в теле плотины заключается в следующем. На основании сведений о местных ресурсах производится выбор строительного материала, устанавливается общая характеристика его состава и свойств, а затем выбирается консистенция глинистого мелкозема (фракции мельче 5 мм) при укладке и степень уплотнения грунта с запроектированными зерновыми и минералогическими составами, определяемая задаваемой работой. Эта задача выполняется с учетом требований к механическим и фильтрационным свойствам грунтов возводимого сооружения заданной конструкции, увязанной

с природными условиями, в которых возводится сооружение.

Изучение механических свойств скелетно-глинистого грунта в широком классе траекторий нагружения, выполненное Г. М. Ломизей, В. Г. Федоровым в МИСИ (ныне Московский государственный строительный университет) объективно показало преимущества достижения высокой плотности мелкозема в таком грунте при его твердой консистенции [8].

Для предотвращения трещин в верхнюю часть ядра высокой каменно-земляной плотины и в зону, контактирующую с бортами скального основания укладывается более пластичный грунт, с меньшим содержанием и меньшей крупностью каменных включений.

Фильтрационные исследования смеси суглинка с гравийно-галечниковым грунтом, выполненные в АО «НИИЭС» РусГидро, показали возможность варьирования величиной коэффициента фильтрации и сжимаемостью скелетно-глинистого грунта, от которых зависит степень проявления порового давления. На рисунке 4 показано изменение коэффициента фильтрации смеси суглинка с гравийно-галечниковым грунтом в зависимости от сжимающих напряжений в испытываемом образце и содержания мелкозема при одинаковой степени его начального уплотнения, установленной в соответствии с вышеизложенными требованиями к качеству скелетно-глинистых грунтов [9]. Как видно из рисунка, изменение содержания мелкозема в исследованной грунтовой смеси от 40 до 70 % сопровождается изменением коэффициента фильтрации в сотни раз. С увеличением сжимающих напряжений коэффициент фильтрации изменяется в тех же пределах, что можно объяснить повышением плотности испытываемой грунтовой смеси.

Результаты проведенных исследований скелетно-глинистых грунтов говорят о том, что, ориентируясь на ожидаемый уровень напряжений в ядре плотины, можно регулировать величину и скорость рассеивания порового давления путем подбора гранулометрического состава грунта, консистенции и плотности его мелкозема. Технология производства работ должна обеспечивать получение этих параметров начального состояния грунта при возведении сооружения.

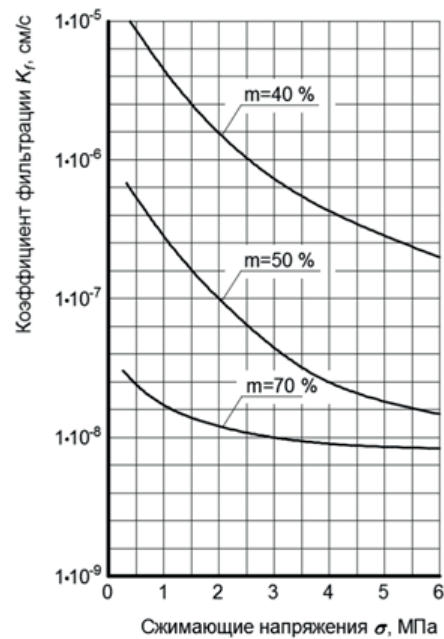


Рис. 4. Графики зависимости коэффициента фильтрации смеси суглинка с гравийно-галечниковым грунтом от сжимающих напряжений в испытываемом образце:  $m$  – содержание мелкозема (фракции мельче 5 мм) в смеси

Результаты проведенных исследований скелетно-глинистых грунтов говорят о том, что, ориентируясь на ожидаемый уровень напряжений в ядре плотины, можно регулировать величину и скорость рассеивания порового давления путем подбора гранулометрического состава грунта, консистенции и плотности его мелкозема. Технология производства работ должна обеспечивать получение этих параметров начального состояния грунта при возведении сооружения.

Скелетно-глинистые грунты были применены для возведения ядра плотины Нурекской ГЭС в Таджикистане ( $H = 300$  м) и для ядра плотины ГЭС Тери в Индии ( $H = 260$  м). Использование аналогичных грунтов предполагается и при возведении высотной плотины Рогунской ГЭС в Таджикистане ( $H=385$  м). Скелетно-глинистый грунт ядра этой плотины предполагается разрабатывать в конусах выноса пролювиальных отложений, что потребует всестороннего изучения его гранулометрического состава и изменчивости свойств мелкозема для обоснования начального состояния грунта и технологии укладки в тело сооружения.

**Выводы**

Способы снижения порового давления

путем устройства дренажей и других конструкций в глинистых ядрах каменно-земляных плотин осложняют фильтрационный режим сооружения, поэтому не находят широкого применения в гидротехническом строительстве.

Более эффективным способом снижения порового давления является регулирование физико-механических и фильтрационных свойств глинистого грунта при возведении сооружения.

Учитывая возможность варьирования гранулометрическим составом, сжимаемостью и коэффициентом фильтрации скелетно-глинистых грунтов, а также их способность к самозалечиванию трещин, следует считать применение этих грунтов, при научном обосновании плотности и влажности мелкозема, наиболее надежным способом снижения порового давления в ядрах строящихся каменно-земляных плотин.

В процессе изыскательских работ для обоснования проектов каменно-земляных плотин необходимо уделять внимание поиску месторождений скелетно-глинистых грунтов и возможности получения таких грунтов путем создания искусственных смесей.

#### Библиографический список

1. **Ляпичев Ю. П.** Поровое давление консолидации в каменно-земляных плотинах // Труды института «ВОДГЕО», Гидротехника. Вып.34. – М.: «ВОДГЕО», 1972. – С. 9–18.
2. **Борткевич С. В., Одинцов А. К., Чучик Т. Н.** Влияние конструкции каменно-земляной плотины на ее напряженное состояние // Энергетическое строительство. – 1973. – № 12. – С. 48–50.
3. **Плотина из местных материалов: А.с.644901/Б. И. Балыков, Л. В. Горелик и М.П.Павчич.** – Оpubл. 1979. – Бюл. № 4. – 2с.
4. **Плотина из местных материалов: А.с. 358463/В. Ф.Теплов.** – Оpubл. 1972. – Бюл. № 34. – 2 с.

5. **Плотина из местных материалов: А.с. 897923/В. И. Вуцель, В. И. Шербина.** – Оpubл. 1982. – Бюл. № 2. – 2 с.

6. **Плотина из грунтовых материалов: А.с. 1138451/С. В. Борткевич, А. Б. Васильев, В. И. Вуцель, С. И. Скиба.** – Оpubл. 1985. – Бюл. № 5. – 2 с.

7. **Зарецкий Ю. К.** Вопросы консолидации и ползучести с учетом распределения пор грунта по величине // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1973. – № 4. В книге «Моя жизнь в журнале ОФМГ». – М.: Издательство «ЭСТ», 2005. – С. 84–93.

8. **Ломизе Г. М., Федоров В. Г.** Влияние начального состояния скелетно-глинистого грунта на его деформируемость и прочность // Гидротехническое строительство. – 1975. – № 12. – С. 19–27.

9. **Борткевич С. В., Скибин А. Н.** Исследование смеси суглинков с гравийно-галечниковым грунтом для ядра плотины Тери / Безопасность энергетических сооружений. Научно-технический и производственный сборник. Вып.16. – М.: ОАО «НИИЭС», 2007. – С. 31–44.

Материал поступил в редакцию 25.04.2016.

#### Сведения об авторах

**Аверьянов Виталий Николаевич**, соискатель степени кандидата технических наук кафедры «Организация и технология строительства объектов природообустройства»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; генеральный директор Акционерного общества «Проектно-изыскательское научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ»; 125212, г. Москва, Ленинградское шоссе д. 43а; Тел./факс: 8 (495) 926-41-55; e-mail: 2800120@mail.ru.

**Борткевич Виктор Станиславович**, заместитель генерального директора Акционерного общества «Проектно-изыскательское научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ»; 125212, г. Москва, Ленинградское шоссе д. 43а; тел.: 8 (495) 926-41-55; e-mail: bvs@gitest.ru.

**V. N. AVERJYANOV**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow  
The Joint-stock company «Design, survey and research bureau «GITEST», Moscow

**V. S. BORTKEVICH**

The Joint-stock company «Design, survey and research bureau «GITEST», Moscow

## ABOUT METHODS OF PORE PRESSURE DECREASING IN CLAY CORES OF EARTH-AND-ROCKFILL DAMS

*With the purpose of improving the quality of building there are considered certain construction methods proposed by different authors for decreasing pore pressure in clay cores of earth-and-rockfill dams. It is shown that arrangement of drainages and other structures in clay cores complicates a filtration mode of the structure, therefore these methods are not widely used in hydraulic building. Reduction of pore pressure can be achieved by regulation of physical-mechanical and filtration properties of the clay soil laid into the dam core. In a well compacted soil of solid, semi-solid and tightly plastic consistency there are formed structural ties perceiving a part of external pressure when transmitting it to the pore water. The greatest opportunities for achieving the given purpose arise when constructing a dam's core of skeletal-clay soils with a high density of pit-run fines. The possibility of varying of granulometric composition, compressibility and coefficient of filtration of skeleton-clay soils as well as capability of cracks self-healing make them the most reliable method for decreasing the pore pressure and acceleration of the core consolidation in the process of construction of high earth-and-rockfill dams. It is recommended during surveying with the aim of substantiation of projects of earth-and-rockfill dams to pay attention to the search of deposits of skeleton-clay soils and possibility of obtaining such soils by means of creating artificial mixtures.*

*Earth-and-rockfill dam, dam core, bedrock foundation, pore pressure, clay soil, soil consistency, skeleton-clay soil, drainage, pit-run fines, coefficient of filtration, filtration mode, well, earthquake resistance, compaction, compression stress.*

### References

1. Lyapichev Yu. P. Porovoje davleniye konsolidatsii v kamenno-zemlyanyh plotinah // Trudy instituta «VODGEO», Gydrotehnika. Vyp. 34. – M.: «VODGEO», 1972. – S. 9–18.
2. Bortkevich S. V., Odintsov A. K., Chuchik T. N. Vliyaniye constructsii kamenno-zemlyanoj plotiny na ee napryazhennoye sostoyaniye // Energeticheskoye stroiteljstvo. – 1973. – № 12. – S. 48–50.
3. Plotina iz mestnyh materialov: A.s. 644901/B. I. Balykov, L. V. Gorelik i M. P. Pavchich. – Opubl. 1979. – Bul. № 4. – 2s.
4. Plotina iz mestnyh materialov: A.s. 358463/V. F. Teplov. – Opubl. 1972. – Bul. № 34. – 2 s.
5. Plotina iz mestnyh materialov: A.s. 897923/V. I. Vutsel, V. I. Sherbina. – Opubl. 1982. – Bul. № 2. – 2 s.
6. Plotina iz gruntovyh materialov: A.s. 1138451/S. V. Bortkevich, A. B. Vasiljev, V. I. Vutsel, S. I. Skiba. – Opubl. 1985. – Bul. № 5. – 2 s.
7. Zaretsky Yu. K. Voprosy konsolidatsii I polzuchesti s uchetom raspredeleniya por grunta po velichine // Osnovaniya, fundamenti

I mehanika gruntov. – 1973. – №4. V knige «Moya zhiznj v zhurnale OFMG». – M.: Izdateljstvo «EST», 2005. – S. 84–93.

8. Lomize G. M., Fedorov V. G. Vliyaniye nachaljnogo sostoyanoya skeletno-glinistogo grunta na ego deformiruemostj I prochnostj // Hydrotechnicheskoye stroiteljstvo. – 1975. – № 12. – S. 19–27.

9. Bortkevich S. V., Skibin A. N. Issledovaniye smesi suglinkov s gravijno-galechnikovym gruntom dlya yadra plotiny Teri / Bezopasnostj energeticheskij sooruzhenij. Nauchno-tehnicheskij I proizvodstvennyj sbornik. Vyp. 16. – M.: OAO «NIIES», 2007. – S. 31–44.

Received on 25.04.2016.

### Information about the authors

**Averjyanov Vitaliy Nikolaevich**, contender for a degree of a candidate of technical sciences of the chair «Organization and technology of construction of objects of environmental engineering»; FSBEI HE RSAU-MAA named after C. A. Timiryazev; general director of The Joint-stock company «Design, survey,



research bureau «GITEST»; 125212, Moscow, Leningradskoye shosse d. 43a; Tel./fax: 8 (495) 926-41-55; e-mail: 2800120@mail.ru.

**Bortkevich Victor Stanislavovich**, of

The Joint-stock company «Design, survey, research bureau «GITEST»; 125212, Moscow, Leningradskoye shosse d. 43a; Tel./fax:

8 (495) 926-41-55; e-mail: bvs@gitesti.ru.

УДК 502/504:626.83:532.5

**М. С. АЛИ, Д. С. БЕГЛЯРОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

**Е. А. ЛЕНТЯЕВА**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва

**Д. Ш. АПРЕСЯН**

Акционерное общество «Мосинжпроект», г. Москва

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ С ВОДОВЫПУСКАМИ СИФОННОГО ТИПА

*С развитием строительства крупных насосных станций и увеличением объема работ, выполняемых насосными агрегатами в системах водоснабжения (например, работа в режиме потребителя – регулятора энергосистемы) требования к надежности работы насосных станций и отдельных ее элементов повышаются. Для крупных насосных установок при напорах более 15 м характерны здания блочного типа с совмещенном вариантом водовыпуска. В станциях с осевыми насосами и сифонными водовыпусками простота конструкции приводит к большой растянутости по времени переходных процессов и, следовательно, к значительной продолжительности переменных динамических воздействий на сооружения и оборудование, поэтому при проектировании крупных насосных станций необходимо комплексно учитывать работу напорного тракта и технологического оборудования, основываясь на расчетах переходных процессов. В статье рассматривается созданная на основе теоретического обобщения существующих методов расчета математическая модель переходных процессов. Эта модель дает возможность провести с необходимой степенью точности расчеты переходных процессов в напорных трубопроводах с крупными насосными станциями и сифонными водовыпусками, входящих в комплексы сооружений водного хозяйства и гидроэнергетики.*

*Насосный агрегат, напорный трубопровод, осевой насос, переходные процессы, скорость распространения ударной волны, гидроудар, сифонный водовыпуск, гидравлические потери.*

**Целью исследований** являлась разработка основ расчетного обоснования и проектирования, исследование напорной водоподдачи для крупных насосных станций блочного типа с водовыпусками сифонного типа. Несмотря на накопленный опыт строительства и эксплуатации подобных систем, пока еще нет достаточно общих методов расчета переходных процессов, обеспечивающих повышение надежности сооружений.

**Материалы и методы.** Гидравлические потери в водовыпуске, определяются формой проточной части. Геометрические размеры сифонного водовыпуска и расчетная схема представлена на рисунке 1. При конструировании сифонных водовыпусков,

для крупных насосных станций необходимо использовать следующие рекомендации [1]:

– проточная часть сифонного оголовка должна иметь прямоугольное, распластанное в плане, сечение (отношение ширины сечения к его высоте принимать в пределах 2,3...2,8);

– площадь сечения на гребне сифона должна быть равной площади напорного трубопровода (если на сифонный оголовок работает не один насос);

– высота сечения должна быть постоянной, начиная от горлового сечения до выхода, и с целью уменьшения вакуумной зоны и обеспечения быстрой зарядки сифона следует принимать равной  $(0,55...0,60)D_{тр}$ , тогда  $b=(1,43...1,32)D_{тр}$  ( $D_{тр}$  – требуемый диаметр