

УДК 622.793.2

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ХВОСТОХРАНИЛИЩ ПРИ СКЛАДИРОВАНИИ ОТХОДОВ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ**

Канд. техн. наук      Г.Т. Трунков  
Канд. техн. наук      М.А. Шинтемиров

*Приведены рекомендации по конструктивным решениям и технологии возведения хвостохранилищ, расположенных в сложных (горных) природных условиях и установлено влияние различных конструкций дренажей на напряженно-деформируемое состояние (НДС) массивов хвостохранилищ и их оснований.*

С повышением требований к охране окружающей среды и обеспечению безопасности жизнедеятельности особое значение приобретает обоснованная оценка надежности хранилищ твердых и жидких отходов промышленности. Так как эти сооружения расположены обычно вблизи промышленных комплексов и населенных пунктов, то аварии наносят значительный материальный ущерб, загрязняют окружающую среду, а иногда сопровождаются человеческими жертвами.

Основные направления повышения эксплуатационной надежности хвостохранилищ, защиты окружающей среды от загрязнения заключаются в проведении исследований, которые позволяют дать научное обоснование возведения высоких хвостохранилищ путем их намыва из мелкодисперсных материалов в условиях замкнутых систем водооборота и складирования отвальных хвостов промышленности в сложных природных условиях.

К сложным природным условиям, оказывающим наибольшее влияние на работу хвостохранилищ, относятся горные условия, условия северной строительно-климатической зоны и сейсмичности. Учет этих условий при проектировании хвостохранилищ оказывает существенное влияние на их конструкцию и технологию складирования отвальных хвостов.

Специфика горных условий (сравнительно узкие долины, ущелья, и каньоны, большие перепады высотных отметок, крутые уклоны бортов долины и связанные с этим сложности выполнения строительных работ) вызывает ряд особенностей хвостохранилищ, учет которых при проектировании оказывает существенное влияние на их конструкцию и технологию складирования хвостов [1].

Так, характерным для горных хвостохранилищ является короткий фронт намыва, что затрудняет организацию намыва по участкам и приводит к значительному повышению положения депрессионной поверхности за счет инфильтрации воды при намыве. Например, на хвостохранилище Солнечного ГОКа при длине фронта намыва около 400 м происходило повышение депрессионной кривой на 15 м при намыве на участке до 2-х месяцев. Это обстоятельство отрицательно влияет как на общую устойчивость откоса, так и на фильтрационную, а также способствует разжижению пляжных отложений при сейсмических воздействиях.

При узком каньоне вследствие фракционирования частиц хвостов по длине распределительного пульповода возможно неблагоприятное распределение отложений по крупности частиц по длине намываемой дамбы, когда в примыкании к одному из бортов долины в непосредственной близости от концевого выпуска откладываются наиболее тонкие частицы, а депрессионная поверхность при этом повышается из-за постоянной инфильтрации. Все это приводит к ослаблению указанной части профиля ограждающей дамбы и возможности проявления деформаций сдвига и оплывания.

Короткий фронт намыва и большие перепады высот основания хвостохранилища приводят к большой интенсивности роста сооружения по высоте и неблагоприятному распределению отложений по крупности в поперечном сечении упорной призмы хвостохранилища. При этом в непосредственной близости от пионерной дамбы откладываются более тонкие частицы, а прудковые, наиболее слабые, отложения подстилают ограждающую дамбу. В процессе роста сооружения по высоте в результате уплотнения грунтов этих зон под действием собственного веса наблюдается интенсивное развитие процессов консолидации, которые сопровождаются в ряде случаев существенным повышением избыточных давлений в поровой воде и соответствующее снижение устойчивости хвостохранилищ. При этом скорость развития процесса консолидации грунтов существенно зависит от изменения в процессе консолидации их деформационных, фильтрационных свойств. Снижение избыточных поровых давлений в процессе консолидации увеличивает сжимающие напряжения в скелете грунта и его прочность [2].

Одним из радикальных мероприятий по ускорению процесса консолидации грунтов и увеличению устойчивости сооружений является устройство дренажей, обеспечивающих отток излишней воды из недоуплотненных зон. Дренажное устройство земляных гидротехнических сооружений

энергетического, мелиоративного и транспортного строительства для ускорения процесса консолидации грунтов и увеличения устойчивости сооружений весьма эффективно применяется как в нашей стране, так и за рубежом. Однако при возведении хвостохранилищ дренажи устраивают только в пляжной зоне для снижения депрессионной кривой, а основные недоуплотненные зоны не дренируют вследствие их труднодоступности.

В обычных гидротехнических сооружениях грунты уплотняются до величины объемного веса, обеспечивающего малую сжимаемость грунта и практическое постоянство коэффициента фильтрации. Поэтому при проектировании дренажных устройств обычно не учитывается возможность изменения фильтрационных свойств дренируемой толщи. В хвостохранилищах отложения прудковых зон характеризуются большой сжимаемостью грунта и связанной с этим значительной нелинейностью зависимости коэффициента фильтрации от сжимающих напряжений (или пористости).

Для повышения надежности хвостохранилищ, возводимых в горных условиях, необходимо применять мероприятия, которые можно подразделить на 2 группы:

- конструктивные, направленные на повышение устойчивости хвостохранилищ;
- технологические, направленные на улучшение распределения укладываемых хвостов в теле хвостохранилищ.

В некоторых случаях такое подразделение является условным, так как некоторые конструктивные мероприятия выполняются технологическими приемами.

#### **Конструктивные мероприятия**

Цель конструкции хвостохранилища (рис. 1), предложенной Х. Абаджиевым [1], заключается в создании повышенной ее устойчивости не путем увеличения объема пионерной дамбы, а путем рационального распределения крупного материала. Для этого часть пионерной дамбы у подошвы верхового откоса выдвинута в сторону отстойного пруда, что способствует благоприятному фракционированию хвостов по крупности при намыве, при котором над пионерной дамбой откладываются крупные хвосты, формирующие устойчивую упорную призму, а тонкодисперсные частицы поступают с потоком в отстойный пруд.

Если пионерная дамба выполняется из малопроницаемого грунта, то верховой откос ее дренируется по всей поверхности. Высота пионерной дамбы в зоне примыкания к отстойному пруду должна быть несколько больше его глубины в начальный период эксплуатации хвостохранилища, а в примыкании

устанавливается экран из глинистого грунта. Начальная поверхность пионерной дамбы имеет уклон равный уклону надводной части пляжа.

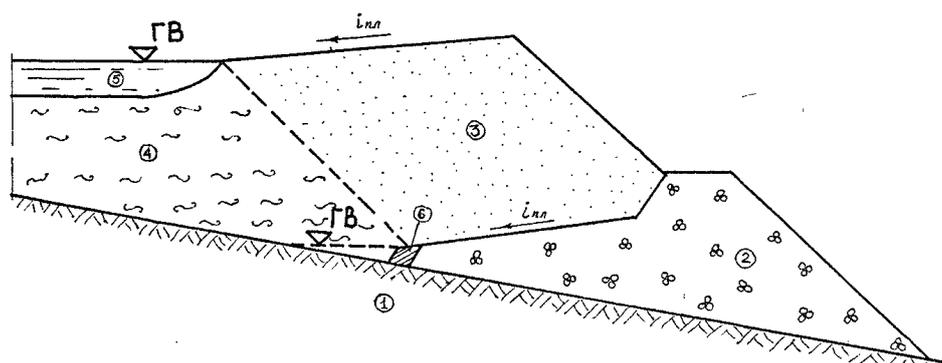


Рис. 1. Схема конструкции хвостохранилища, предложенная Х. Абаджиевым.  
1 – основание хвостохранилища, 2 – пионерная дамба из крупнообломочного грунта, 3 – пляжная зона, сложенная песчаными частицами, 4 – отстойный пруд, 6 – экран из глинистого грунта.

Такая конструкция была реализована на строительстве медного ГОКа «Арсенал» в Болгарии.

Цель конструкции хвостохранилища с горизонтальными дренажными зонами (рис. 2) заключается в повышении прочностных характеристик слабого грунта отложений переходных и прудковых зон хвостохранилищ и увеличении объемов ширины упорной призмы за счет ускорения процесса консолидации грунта путем перераспределения крупного материала в поперечном сечении сооружения и создания горизонтальных дрен. Как показали исследования, уплотнение (уменьшение коэффициента пористости) отложений хвостохранилищ под действием собственного веса и фильтрационных сил вызывают значительное увеличение угла внутреннего трения и сцепления грунта. Так, угол внутреннего трения прудковых суглинков при уменьшении коэффициента пористости от 0,95 до 0,65 увеличивается от 25° до 30°.

Размеры дренажных горизонтальных зон (длина и толщина) и их размещение в поперечном сечении определяются расчетом консолидации грунта с учетом реальных нелинейных зависимостей проницаемости и сжимаемости грунтов, а также расчетом устойчивости хвостохранилищ [1]. Проведенные расчетные исследования хвостохранилищ показали существенное снижение (более 50 %) избыточных давлений в дренированной зоне и соответствующее увеличение коэффициента устойчивости.

В целях недопущения выхода фильтрационного потока на низовой откос хвостохранилища, повышения местной и общей устойчивости, а

также для предотвращения разжижения грунта при сейсмических воздействиях, рекомендуется поярусное устройство дрен. Дрены укладываются с верхней стороны дамб обвалования по всему фронту намыва, отвод профильтрованной воды производится либо в дренажной насосной станции, либо в насосную оборотного водоснабжения.

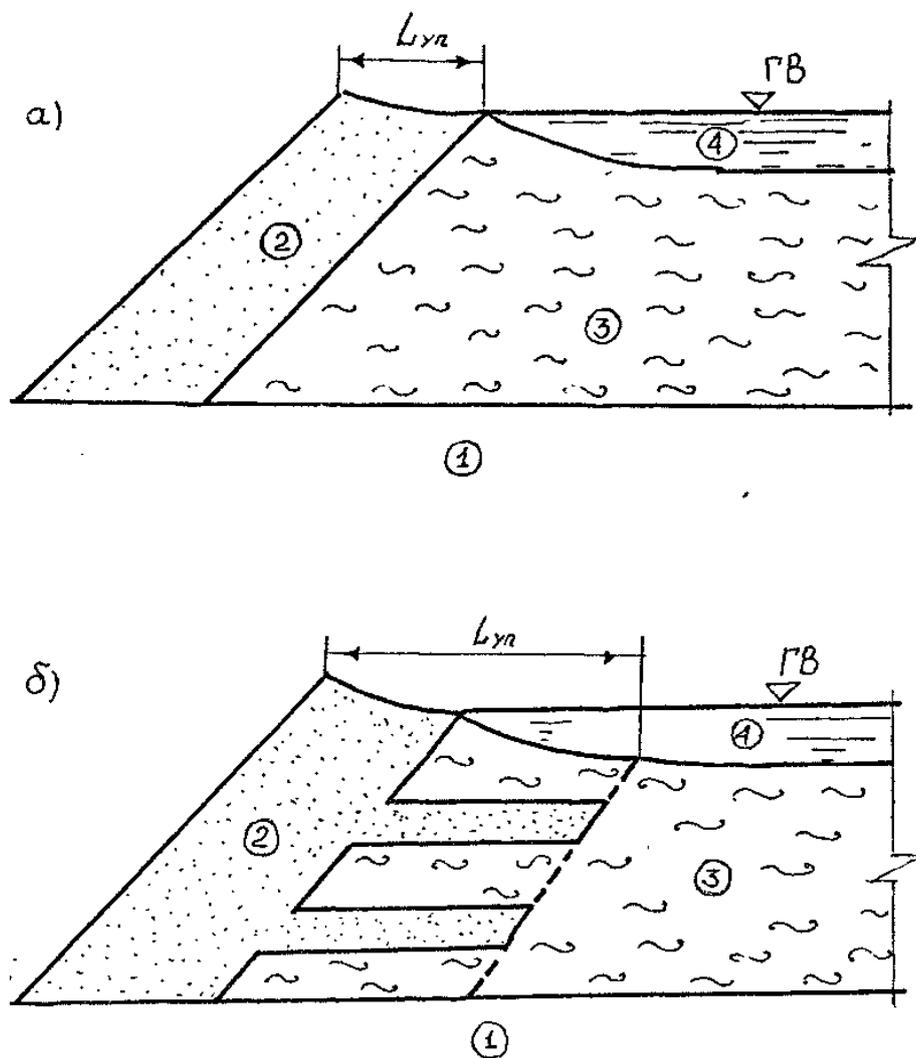


Рис. 2. Схема расположения крупного материала в хвостохранилище.  
 а) традиционный намыв «от дамбы к берегу», б) конструкция с горизонтальными дренами. 1 – основание хвостохранилища, 2 – крупнозернистые хвосты, 3 – тонкодисперсные прудковые отложения, 4 – отстойный пруд.  $L_{уп}$  – ширина упорной призмы.

### Технологические мероприятия

Учитывая большие трудности создания дренажей в слабых грунтах прудковых зон хвостохранилищ известными методами строительства в научно-исследовательской лаборатории Механики грунтов и устойчивости хвостохранилищ Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ) предложен способ их возведения, основанный на использовании явления фракционирования грунта при намыве [4].

Горизонтальные дренажные зоны необходимых размеров создаются в теле хвостохранилищ через определенные интервалы по высоте путем постепенного перемещения фронта намыва от ограждающего контура в сторону отстойного пруда и в обратном направлении (рис. 3). При этом дренажные зоны, создаваемые предлагаемым способом, имеют фильтрационную связь с боковой дренажной призмой (пляжной зоной) и надежные обратные фильтры за счет фракционирования грунта по крупности на их границе. Тело сооружения формируется таким образом, что отток воды из недоуплотненных прудковых зон происходит в дренажи, располагаемые в непосредственной близости от дренируемых зон, что резко увеличивает скорость процесса уплотнения и приводит к повышению устойчивости хвостохранилища в целом.

Таким образом, за счет перераспределения крупного материала и повышения прочностных характеристик грунта с помощью горизонтального дренирования могут быть созданы устойчивые и надежные намывные хранилища из тонкодисперсных промышленных отходов.

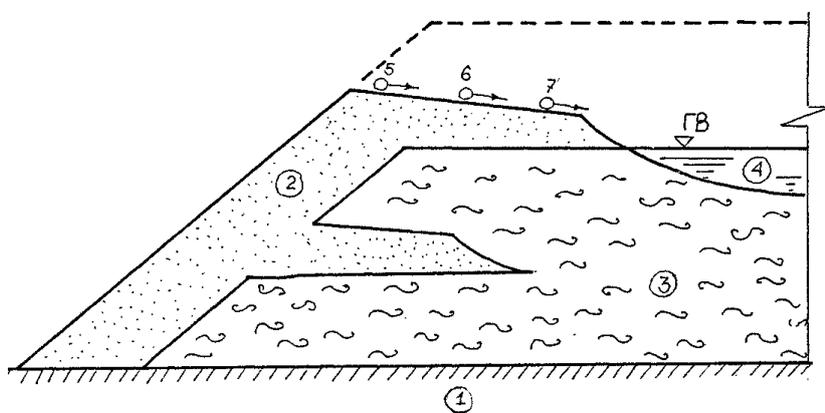


Рис. 3. Технологическая схема намыва дренажей. 1 – основание хвостохранилища, 2 – крупнозернистые хвосты, 3 – тонкодисперсные прудковые отложения, 4 – отстойный пруд, 5...7 – последовательное отложение фронта намыва.

Экономический эффект от реализации такого предложения определяется снижением капитальных затрат вследствие замены плотины наливного хвостохранилища пионерной дамбой, имеющей меньший объем, и увеличением полезной нагрузки на единицу площади хвостохранилища.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаджиев Х.А. с., НРБ № 34696.
2. Евдокимов П.Д., Сазонов Г.Т. Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик. – М., Недра, 1978. – 439 с.
3. Министерство цветной металлургии СССР. Технические указания по расчету консолидации хвостохранилищ с учетом анизотропии коэффициента фильтрации. – Л., Механобр, 1977. – 33 с.
4. Ivanov P.L., Trunkov G.T. Acceleration of the consolidation process for earth dams constructed of fine dispersed industrial wastes. // Proc., 7<sup>th</sup> Danube European Conf. Soul Fech. Found. Engng. Kishenev, 1983. – p. 93 – 96.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

#### **КҮНДЕЛІ ТАБИҒАТ ЖАҒДАЙЫНДА ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРЫН САҚТАЙТЫН ҚОЙМАНЫ ПАЙДАЛАНУ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗДАНДЫРУ**

Техн. ғылымд. канд. Г.Т. Трунков  
Техн. ғылымд. канд. М.А. Шинтеміров

*Күрделі (таудағы) табиғат жағдайында орналасқан қойманы салу технологиясының тиімді шешімі тұралы ұсыныс келтірілген және әртүрлі конструкциялы дренаждардың шиеленісті-деформациялық жағдайдағы (ШДЖ) қойма құрылысына, оның жабанына әсері қарастырылған.*