

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Т.А.Кулагина  
подпись  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

20.03.01. «Техносферная безопасность»

Незамерзающая дренажная система на хвостохранилище в Кемеровской  
области

Пояснительная записка

Научный руководитель \_\_\_\_\_ док.техн.наук. Г.И. Кузнецов  
подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ М.Р. Фазлиахметова  
подпись, дата

Консультанты по разделам:

Нормативно-правовая база \_\_\_\_\_ С.В. Комонов  
подпись, дата

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ С.В. Комонов  
подпись, дата

Красноярск 2018  
**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Общие сведения и элементы хвостохранилищ.....	6
1.1 Отстойный пруд хвостохранилища и водоотводящие сооружения .....	8
1.1.1 Общие сведения о водосбросах .....	9
1.1.2 Колодец шахтного типа.....	11
2 Природные условия площадки хвостохранилища .....	14
2.1 Расположение и рельеф.....	14
2.2 Климат .....	14
2.3 Геологическое строение основания и массива ограждающей дамбы ....	15
2.4 Гидрогеология и гидрогеохимия.....	20
2.5 Мерзлотно - температурный режим.....	21
3 Условия эксплуатации хвостохранилища.....	22
4 Фильтрационный режим и устойчивость дамбы на современном этапе эксплуатации хвостохранилища.....	25
5 Аналитический расчет глубины промерзания откоса .....	29
6 Рекомендации по рациональной эксплуатации хвостохранилища .....	33
7 Природоохранные противofильтрационные устройства и мероприятия в условиях сезонного промерзания .....	37
7.1 Дренажные устройства .....	37
7.1.1 Горизонтальный трубчатый дренаж .....	38
7.1.2 Вертикальный дренаж .....	39
7.1.3 Комбинированный дренаж.....	41
7.1.4 Незамерзающий дренаж .....	41
7.2 Противofильтрационные экраны .....	44
7.3 Ядра и диафрагмы грунтовых плотин и дамб .....	46
8 Предлагаемые варианты устройства незамерзающих дренажных систем...	50
9 Натурные наблюдения и контрольно – измерительная аппаратура .....	53

10 Нормативно – правовая база обеспечения безопасности гидротехнических сооружений.....	59
10.1 Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений».....	59
10.2 Федеральный государственный надзор в области безопасности гидротехнических сооружений .....	60
10.3 Нарушение законодательства о безопасности гидротехнических сооружений.....	62
10.4 Ответственность за нарушение законодательства о безопасности гидротехнических сооружений .....	63
10.5 Декларация безопасности гидротехнических сооружений .....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	69

## ВВЕДЕНИЕ

Хвостохранилища – это комплекс сооружений, предназначенных для складирования хвостов – тонкоизмельченной пустой породы, образующейся при обогащении руд на горнорудных предприятиях.

Система ограждающих дамб, а также любые накопители, в том числе хвостохранилища представляют собой ответственное гидротехническое сооружение, эксплуатация которого должна выполняться в строгом соответствии с требованиями промышленной безопасности.

Нарушение устойчивости и функциональности ограждающих дамб может привести к аварийной ситуации и значительному социально-экономическому ущербу, заключающемуся в финансовых потерях, дополнительных затратах (ремонтно-восстановительные работы дамб, пульпопроводов, дорог, линий электропередач, пьезометрических станций, устройств и механизмов и др.; ликвидация последствий аварии; восстановление окружающих природных систем) и штрафах за загрязнение окружающей среды и экологический ущерб. Эти проблемы являются актуальными для любых гидротехнических сооружений.

Также гидротехнические сооружения могут наносить вред окружающей природной среде и человеку. В результате процессов гипергенеза (разложения, окисления, растворения, гидролиза и др.) первичные рудные минералы преобразуются во вторичные минеральные формы. Содержащиеся в них тяжелые металлы активно мигрируют в окружающую среду, загрязняя ее компоненты: атмосферу, поверхностные и подземные воды, почву, растительность, превышая фоновые и предельно допустимые концентрации.

Актуальность этой темы высока, так как сложные климатические условия регионов накладывают ограничения на возведение и эксплуатацию гидротехнических объектов. Низкие абсолютные температуры и вечная мерзлота в основании усложняют производство работ, и в ряде случаев ведут

к нарушениям проектной работы сооружений. В качестве примеров можно привести Курейскую ГЭС, Колымскую ГЭС на которых произошли аварийные ситуации в результате изменения температурно-фильтрационного режима. По оценкам специалистов из-за нарушения температурно-фильтрационного режима около 70% построенных грунтовых низконапорных плотин III-IV классов, возведённых в суровых климатических условиях, получают повреждения в первые три года эксплуатации. Экономический ущерб от этого исчисляется миллиардами рублей.

Основной целью данной работы является решение проблемы замерзания профильтровавшейся воды в открытом дренажном колодце, для этого необходимо выполнить следующие задачи:

- провести анализ фильтрационного режима и устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища;
- выполнить аналитический расчет глубины промерзания откоса;
- по результатам исследований предложить мероприятия в виде двух вариантов незамерзающих дренажных устройств.

Итак, данная работа представляет собой анализ эколого-геохимической оценки гидротехнического сооружения, а именно, хвостохранилища, расположенного в Кемеровской области.

## **1 Общие сведения и элементы хвостохранилищ**

Хвосты представляют собой частицы пустой породы, получающиеся в результате механической переработки руд и углей (дробления, измельчения, классификации, флотации, магнитной сепарации и др.). Твёрдая фаза хвостовой пульпы представлена смесью минеральных частиц разного размера — от 3 мм до долей микрона. По гранулометрическому составу хвосты классифицируются как мелко-тонкозернистые пески.

Хвостохранилище – это гидротехническое сооружение для приёма и хранения отходов обогащения полезных ископаемых (хвостов). Хвосты поступают в хвостохранилище в виде пульпы с отношением количества твердых минеральных частиц к воде, достигающим 1:15 – 1:30. Твердые частицы осаждаются, а осветленная вода отводится для повторного использования или сбрасывается в водоем.

С целью предотвращения загрязнения окружающей природной среды, а также для отстаивания, осветления, испарения, доочистки и накопления при повторном использовании в системе водооборота или перед сбросом в водоемы сточные воды аккумулируют в специально подготовленных емкостях – накопителях сточных вод, прудах – отстойниках, прудах – испарителях.

В состав хвостохранилища входят первичная дамба и дамбы последующих ярусов наращивания, различные противофильтрационные устройства, дренажи, водосбросные сооружения, системы гидротранспорта и пылеподавления.

В зависимости от рельефа площадки, на которой сооружается хвостохранилище, их подразделяют на следующие типы:

– балочно-овражный тип создается путем перегораживания оврага в нижней его части дамбой и возведения на бортах емкости сплошных и прерывистых дамб. Данный тип отличается высокой экономичностью;

- косогорный тип возводится на пологих склонах путем ограждения участка территории дамбами с трех сторон;
- равнинный тип создается ограждением участка равнины дамбами по всему периметру емкости;
- пойменный тип создается путем ограждения дамбами части поймы реки;
- карьерный (котлованный) тип располагают в выработанном пространстве карьеров или в естественных котлованах без возведения дамбы или с дамбой малой высоты.

Выбор типа накопителя определяется: топографией площадки, местом сооружения, способом образования емкости для складирования (одноярусный, многоярусный), перспективой расширения (односекционный, многосекционный).

Хвостохранилища относятся к намывным накопителям, то есть их емкость создается путем непрерывного намыва пляжей, а иногда и ограждающих дамб из крупных фракций складированных отходов.

Строительство выполняется в две очереди. Сначала возводят первичную дамбу, для чего используют вскрышные породы, местные грунты, а также хвосты. После заполнения первого яруса емкости складированными хвостами на намывном основании вдоль первичной дамбы со смещением оси в сторону емкости сооружают дамбу второго яруса, в том числе из отложившихся в емкости хвостов. Вслед за этим начинают замык хвостами образованной емкости нового яруса.

Для отвода из хвостохранилища жидкой фазы складированных отходов, а также с целью обеспечения устойчивости в них устраивают водоотводящие сооружения, дренажи, а также бассейны и насосные станции осветленной воды.

Заполнение хвостохранилища происходит по следующим схемам:

- пульпопровод располагают на гребне дамбы и хвосты укладывают от дамбы к бортам оврага;

– пульпопровод располагают на борту и хвосты укладывают от верховой части хвостохранилища к ограждающим дамбам.

При первой схеме намыва по всему фронту выпусков образуется пляж из наиболее крупных фракций пульпы, а мелкие фракции попадают в отстойный пруд. Это обстоятельство считается благоприятным, так как способствует повышению устойчивости дамбы. Также к достоинствам первой схемы намыва относятся возможность наращивания дамбы намывом из хвостов и оптимальные условия осветления воды в отстойном пруде.

При укладке хвостов по второй схеме около дамбы образуется зона, сложенная из мелких фракций, а на пляже намыва в зимнее время пульпа может замерзать и образовывать наледи. Эту схему применяют только в том случае, если она дает существенный экономический эффект. При ее использовании в многоступенчатом хвостохранилище представляется возможность экранировать ложе мелкими фракциями хвостов и существенно снизить фильтрационные потери.

Размещаются хвостохранилища на незастроенных территориях, на малоценных землях, с подветренной стороны по отношению к жилым застройкам.

Хвостохранилища занимают площади в сотни гектаров, а высота их после заполнения хвостами достигает десятков и даже сотен метров. Количество складированных хвостов составляет десятки – сотни миллионов тонн.

### **1.1 Отстойный пруд хвостохранилища и водоотводящие сооружения**

Отстойный пруд предназначен для осветления и неполной очистки промстоков, поступающих в составе пульпы. В нем аккумулируются атмосферные осадки, выпадающие на поверхность пруда, пляжа и бортов



чаши накопителя, а в отдельных случаях также поверхностный сток с прилегающей территории и дополнительные технологические сбросы.

Объем и размеры пруда должны обеспечивать заданную степень осветления и очистки промстоков, удовлетворяющую технологическим параметрам и природоохранным требованиям.

При полной экологической безопасности сооружения все стоки, сбрасываемые из пруда по водосбросным сооружениям, и фильтрационные утечки должны быть возвращены в систему оборотного водоснабжения для гидротранспорта отходов и других технических нужд.

Водоотводящие сооружения устраивают в накопителях для обеспечения пропуска осветленной воды или полного опорожнения емкости.

Конструкцию и размеры водоотводящих сооружений определяют расчетным путем, исходя из обеспечения требуемой пропускной способности при различных отметках поверхности воды в накопителе, изменяющихся в процессе эксплуатации. Высоту колодца рекомендуется принимать не более 20 м. Расстояние от колодцев до мест выпуска пульпы определяется требуемой степенью осветления, обычно его принимают не менее 250 м.

### **1.1.1 Общие сведения о водосбросах**

Водовыпуски – это водосбросные напорные гидротехнические сооружения. По целому ряду признаков они похожи на закрытые водосбросы.

Водосбросы предназначены для сброса лишней воды из накопителей и водохранилищ.

Конструкцию водосбросных сооружений для сброса осветленной воды выбирают исходя из топографических условий территории. При этом могут использоваться водосбросные колодцы шахтного типа, наклонные водосбросные галереи на бортах чаши, различного рода сифонные водосбросы, плавучие и передвижные насосные станции. Необходимо

отметить, что широко используемые традиционные шахтные водосбросные колодцы по особенностям конструкции практически недоступны для ремонта. Аварии водосбросов могут привести весь накопитель в аварийное состояние.

Сифонный водосброс целесообразно применять в районах с суровыми климатическими условиями.

Водоотводящие сооружения должны обеспечивать забор воды при различных глубинах пруда и отметках гребня дамбы с учетом динамики заполнения и наращивания накопителя.

Расчетные максимальные расходы воды необходимо принимать исходя из ежегодной вероятности превышения (обеспеченности), устанавливаемой в зависимости от класса сооружения для двух расчетных случаев – основного и поперечного. При этом расчетные гидрологические характеристики следует определять по СНиП 2.01.14 – 83.

По расположению в узле сооружений водосбросы подразделяются на две группы: береговые (вне тела плотины) и в теле плотины.

Водосбросы в теле плотин располагают либо непосредственно в русле, либо на пойме реки. В конструктивном отношении их делят на открытые и трубчатые водосбросы.

Береговые водосбросы существенно отличаются от водосбросов в теле плотины. Их выполняют в виде открытых водосбросных каналов, туннелей и различных сочетаний водослива с каналом, шахтой и туннелем.

По типу оборудования водосливной части водосбросы подразделяются на управляемые (с затворами и механизмами для их подъема и опускания) и автоматического действия. Последние в свою очередь могут быть без затворов (открытый водослив, сифон) и с затворами, отрегулированными на их поднятие при достижении уровня воды заданной отметки.

По конструктивному признаку водосбросы могут быть следующих разновидностей: трубчатые, береговые открытые, траншейные, шахтные, туннельные и др.

Трубчатые водосбросы устанавливают в теле грунтовых плотин небольшой высоты. Преимуществом данных водосбросов является возможность их комплексного использования.

Береговые открытые водосбросы устраивают на гидроузлах, как с грунтовыми, так и бетонными плотинами. Располагают их, как правило, на одном берегу, но при значительных расходах на двух берегах.

### 1.1.2 Колодец шахтного типа

Шахтный колодец (рис.1) позволяет регулировать уровень воды в пруде и расход сбрасываемой осветленной воды путем подъема или опускания шандорных затворов.

В основном применяют колодцы стоечно – шандорного типа, образованные четырьмя стойками из металла или железобетона. В пазы стоек опускают шандоры.

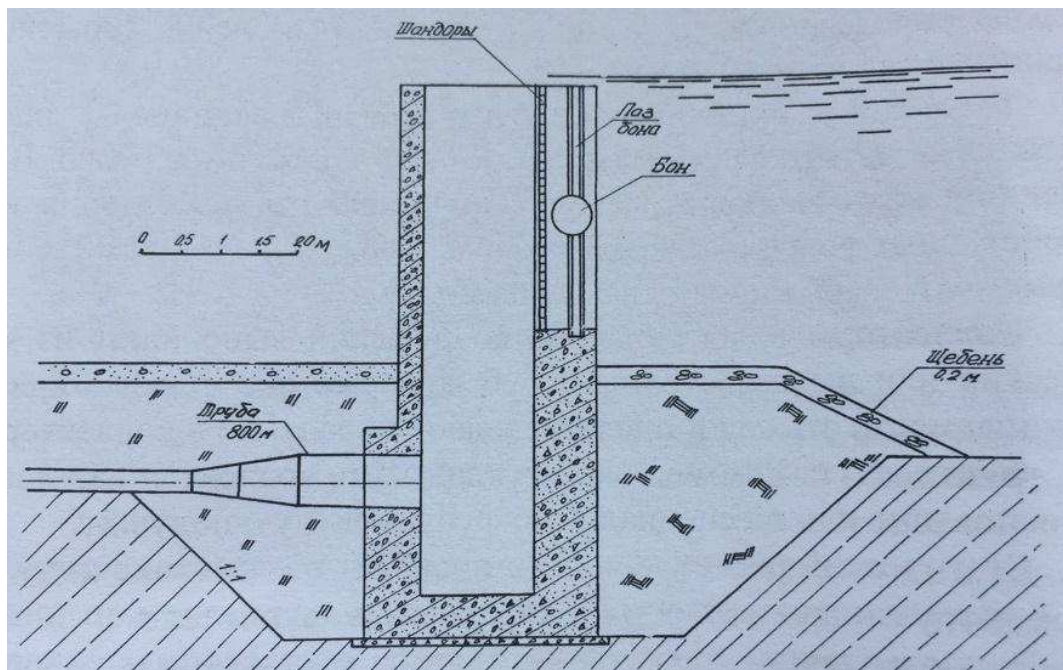


Рисунок 1 – Водосбросный колодец шахтного типа

Осветленная вода забирается плавучей насосной станцией или самотеком сбрасывается с гидроотвала. По мере повышения слоя намыва шандоры наращиваются. В некоторых случаях сечение колодцев принимается треугольным. Вода из колодцев отводится по сбросной трубе и отводящей канаве.

Коллекторы водоотводящих сооружений выполняют из металлических или железобетонных труб, которые обеспечивают водонепроницаемость стыков и предотвращают попадание в коллектор хвостов, грунта и т.д.

Количество колодцев назначают исходя из расхода сбрасываемой осветленной воды. По мере заполнения емкости и наращивания дамбы система «коллектор – колодцы» развивается вверх по склону, постепенно для каждого нового яруса наращивания оборудуется и вводится в эксплуатацию соответствующий ярус колодцев. Если расположение колодцев не препятствует намыву придамбового пляжа и наращиванию дамбы, то производится многоярусное наращивание колодцев по высоте, наиболее характерное для равнинных, пойменных и карьерных накопителей.

Данное устройство является одним из самых распространенных решений по отбору осветленной воды на накопителях, но эти сооружения имеют множество недостатков:

- засорение пульпой;
- чувствительность к ледовым воздействиям (врастание в ледяной покров, смещение, опрокидывание и т.д);
- деформации при осадках намывных оснований и термопросадках оттаивающей мерзлоты;
- невозможность намыва пляжа на участках расположения колодцев;
- невозможность контроля состояния, сложность очистки и ремонта подводных частей колодцев и коллекторов.

Ширина колодца обычно равна 1 м, длина, в зависимости от числа секций, 1, 2 или 3 м.

## **2 Природные условия площадки хвостохранилища**

### **2.1 Расположение и рельеф**

Хвостохранилище занимает площадь более 100 га юго-восточной части пригородной территории г. Новокузнецка (Кемеровская область) в заболоченной долине реки Кондома – левый приток Томи. В двух километрах от хвостохранилища располагается поселок Елань.

Участок расположения хвостохранилища характеризуется равнинным, слабо расчлененным рельефом с общим уклоном поверхности в сторону р. Кондомы. Абсолютные отметки рельефа составляют 422-442 м.

### **2.2 Климат**

Климат рассматриваемой территории резко континентальный с холодной зимой и коротким, относительно жарким летом. Здесь наблюдаются большие суточные и годовые колебания температур потому, что город расположен в центральной части Азии, в Кузнецкой котловине, которую окружают горные области Кузнецкого Алатау, Салаирского кряжа, Горной Шории. На климат влияет Азиатский антициклон.

*Температура воздуха:*

Среднегодовая температура в городе положительная ( +2,1°C). Среднемесячная температура января – минус 21°C; наряду с морозами в зимние месяцы могут наблюдаться кратковременные оттепели с максимальной температурой – 1 – 5°C. Среднемесячная температура июля – плюс 18°C. Ни один летний месяц не гарантирован от понижения температуры до появления заморозка в воздухе или почве.

В основном заморозки прекращаются в конце мая – начале июня и возобновляются в начале сентября. В году здесь 280 солнечных дня, а безморозный период длится 123 дня.

### *Осадки:*

В годовом цикле осадков минимум наблюдается в феврале, максимум падает на июль. Отмечается выпадение града. Осадков за год выпадает около 500 мм.

### *Снежный покров:*

Снежный покров образуется в основном в конце первой – начале второй декады ноября и держится около 160 дней. Максимальная высота снежного покрова отмечается в конце февраля и достигает в среднем около 50 см. Грунт зимой промерзает на глубину равную максимум 280 см. В третьей декаде марта устойчивый снежный покров обычно начинает разрушаться. В конце апреля отмечается полный сход снега.

### *Ветер:*

В рассматриваемом районе преобладающими направлениями в течение года являются ветры южного и юго-западного направлений. Часто бывает безветренная погода. Среднегодовая скорость ветра составляет 2,4 м/с. Для зимнего периода средние скорости ветра являются наименьшими, весной они возрастают и достигают наибольших значений в году, а летом среднемесячные скорости вновь уменьшаются.

## **2.3 Геологическое строение основания и массива ограждающей дамбы**

В геологическом отношении участок расположения хвостохранилища находится на территории, приуроченной к предгорному прогибу юрского возраста. Коренные породы представлены среднеюрскими континентальными отложениями, сложенными переслаивающимися мелкозернистыми глинистыми песчаниками и пестроцветными глинистыми сланцами. На глубину более 10-15 м от кровли породы подвержены глубокому физико-химическому выветриванию и представлены рухляками, сапролитами и супесчано-суглинистыми грунтами.

Четвертичные отложения залегают на размытой поверхности коренных пород и представлены аллювиальными супесями, суглинками, песками и галечниками с галькой изверженных, реже осадочных пород. Общая мощность четвертичных отложений составляет 4,3 – 12,0 м.

Геологические особенности основания и массива ограждающей дамбы изображены на чертеже №2, приложенном к данной пояснительной записке.

По данным, полученным при бурении разведочных и пьезометрических скважин, основание дамбы и ложе хвостохранилища представлено следующими инженерно-геологическими элементами:

*ИГЭ – 1:* насыпные грунты тела дамбы 1-3 очереди представлены гравийно-галечниковыми и галечниковыми с песчаным заполнителем буровато-серого цвета – 30-40%, с линзами песков и супесей (1а), и песками гравелистыми и крупными серого и желто-серого цвета, с линзами супеси (1б), суммарной мощностью 1,4-8,0 м. Грунты неоднородной плотности, маловлажные, влажные и водонасыщенные.

Грунты, образующие тело первичной дамбы, залегают непосредственно на аллювиальных четвертичных отложениях, дамбы 2 и 3 очередей – на намывных хвостовых отложениях.

Усредненный гранулометрический состав гравийно-галечниковых и галечниковых грунтов:

- галька – 51%;
- гравий – 16%;
- песчаные частицы от 2 до 0,1 мм – 30%;
- фракции менее 0,1 мм – 3%.

Усредненный гранулометрический состав песков:

- галька – 19%;
- гравий – 15%;
- песчаные частицы от 2 до 0,1 мм – 55%;
- тонкодисперсные фракции менее 0,1 мм – 11%.



Характеристики физико – механических свойств грунтов указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Физико – механические свойства грунтов

Плотность, г/см <sup>3</sup>	Естественная влажность	Плотность скелета, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости	Пористость, %	Степень влажности
2,04	0,06	1,92	0,39	28	0,41

Коэффициент фильтрации составляет от 0,59 до 0,79 м/сут, средний – 0,67 м/сут.

*ИГЭ – 1в*: намывные хвосты по фракционному составу представляют собой мелко-тонкозернистые пески в основном с содержанием класса до 0,63 мм.

Суммарная мощность хвостовых отложений, залегающих на аллювиальных четвертичных отложениях, составляет 0,8-9,2 м.

Усредненный гранулометрический состав:

- галька – 1%;
- гравий – 11%;
- песчаные частицы от 2 до 0,1 мм – 51%
- фракция менее 0,1 мм – 37%

Характеристики физико – механических свойств хвостов представлены в таблице 2.

Таблица 2– Физико-механические свойства хвостов

Плотность частиц, г/см <sup>3</sup>	Плотность в естественном залегании, г/см <sup>3</sup>	Плотность скелета, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости	Пористость, %	Естественная влажность
2,17	1,53	1,12	0,937	48,4	3,7

Коэффициент фильтрации колеблется от 0,095 до 0,21 м/сут, средний – 0,15 м/сут.

Модуль деформации равен 15-20 кгс/см<sup>2</sup>.

*ИГЭ – 3:* супесь бурая, средней плотности, пластичная, с линзами песка и суглинка. Усредненный гранулометрический состав:

- галька и гравий – 5%;
- песчаные частицы от 2 до 0,1 мм – 35%;
- фракция менее 0,1 мм – 60%.

Отложения супеси переслаиваются с песками разнозернистыми и гравелистыми и имеют мощность от 0,8 до 4,0 м.

Коэффициент фильтрации колеблется от 0,021 до 0,17 м/сут, средний – 0,12 м/сут.

*ИГЭ – 4:* песок разнозернистый, серого цвета, на отдельных участках с линзами супеси, рыхлой и средней плотности, влажный и влагонасыщенный. Пески слагают верхнюю часть разреза аллювиальных грунтов, переслаиваясь с супесями, и имеют мощность от 0,8 до 6,0 м.

Усредненный гранулометрический состав:

- галька и гравий – 11%;
- песчаные частицы от 2 до 0,1 мм – 69%;
- фракция менее 0,1 мм – 20%.

Коэффициент фильтрации составляет от 0,056 до 0,79 м/сут, средний – 0,53 м/сут.

*ИГЭ – 4а:* песок гравелистый, серый, плотный, с линзами супеси, влажный и влагонасыщенный.

Усредненный гранулометрический состав:

- галька – 18%;
- гравий – 22%;
- песчаные частицы от 2 до 0,1 мм – 37%;
- фракция менее 0,1 мм – 23%.

Гравелистые пески слагают переходной слой между вышележащими песками средней плотности и рыхлыми гравийно-галечниковыми грунтами, и имеют мощность от 1,0 до 3,0 м.

Коэффициент фильтрации составляет от 0,42 до 1,35 м/сут, средний – 1,04 м/сут.

*ИГЭ – 5:* гравийно-галечниковый грунт с песчаным заполнителем 20-30%, вблизи подошвенного слоя с супесчано-глинистым заполнителем – 40-45%, плотный, влажный и влагонасыщенный, часто с линзами песка гравелистого 0,2-0,5 м, преимущественный размер гальки – 3-8 см.

Усредненный гранулометрический состав:

- галька – 47%;
- гравий – 20%;
- песчаные частицы от 2 до 0,1 мм – 28%;
- фракция менее 0,1 мм – 5%.

Коэффициент фильтрации составляет 64,4 м/сут.

Глубина залегания галечников колеблется от 2,5 до 6,2 м, мощность слоя – 1,0-5,0 м.

*ИГЭ – 6:* коренные породы: песчаники рассланцованные с линзами алевролитов, зеленовато-серого цвета, трещиноватые, выветренные до рухляков и сапролитов. Керн представлен щебенисто-дресвяным грунтом с суглинистым заполнителем, столбики суглинка имеют твердую консистенцию.

Коэффициент фильтрации составляет 2,0 м/сут.

*ИГЭ – 7:* суглинок серый, мягкопластичный. Усредненный гранулометрический состав:

- галька – 14%;
- гравий – 21%;
- песчаные частицы от 2 до 0,1 мм – 38%;
- фракция менее 0,1 мм – 27%.

Коэффициент фильтрации составляет от 0,021 до 0,29 м/сут, средний – 21 м/сут.

Суглинки слагают нижнюю часть разреза аллювиальных грунтов, залегая на выветрелых коренных песчаниках, и имеют мощность от 2,0 до 3,2 м.

Общая мощность рыхлых четвертичных отложений, включая насыпные грунты и намывные хвосты, составляют от 8,6 м в южной части до 17, 4 м в северной части хвостохранилища.

Характеристики всех грунтов, слагающих основание дамбы, представлены в приложении А.

## **2.4 Гидрогеология и гидрогеохимия**

Гидрогеологические условия участка определяются наличием заполненной до отметки 433,23 м. чаши хвостохранилища и канала осветленной воды со средней отметкой воды 427,8 м.

До сооружения хвостохранилища участок характеризовался наличием безнапорных грунтовых вод, приуроченных к аллювиальным пескам и галечникам. Грунтовый поток имел уклон к руслу р. Кондомы.

По исходным данным подземные воды залегают на глубине 0,65-2,3 м. Минерализация осветленной воды хвостохранилища в открытом отводящем канале составляет 0,37-0,49 г/л, а минерализация в протоке р.Кондомы – 0,16-0,17 г/л.

На дамбе хвостохранилища длиной 7,5 км оборудованы 15 поперечных пьезометрических створов, состоящих из нескольких скважин, установленных на расстоянии 8-55 м друг от друга. Общее число скважин – 36, глубиной от 3 до 14 м. Расстояние между створами 400-600 м.

За пределами дамбы хвостохранилища оборудовано 5 пьезометрических скважин глубиной 9 м, предназначенных для наблюдений

за режимом подземных вод за счет фильтрации из хвостохранилища. Скважины находятся на расстоянии 50-80 м от дамбы.

## **2.5 Мерзлотно - температурный режим**

Состояние горных пород, при котором они длительное время сохраняют отрицательную температуру, называется вечной (многолетней) мерзлотой. В отличие от вечной мерзлоты сезонная мерзлота замораживает горные породы только зимой.

По распространению на поверхности Земли выделяют:

- островную мерзлоту в виде отдельных участков мерзлоты с температурой около  $0^{\circ}\text{C}$  среди талых грунтов;
- мерзлоту с таликами, где среди общей массы многолетней мерзлоты с температурой  $-1,5^{\circ}\text{C}$  встречаются талые участки;
- сплошную мерзлоту, где грунты находятся в состоянии многолетней мерзлоты с температурой  $-1,5^{\circ}\text{C}$  и более.

Глубина воздействия отрицательных температур зависит от климата, состава и состояния пород, характера ориентации и наклона местности, растительного покрова и т.д.

Нормативная глубина сезонного промерзания составляет 2,8-3 м. Криогенные процессы и обусловленные ими деформации (пучение, трещинообразование, солифлюкция, термокарст и др.) на данном объекте не наблюдались. Но необходимо отметить отрицательное влияние процесса сезонного промерзания – оттаивания на рассмотренные ниже локальные деформации низового откоса, а также обратить внимание на проблему замерзания воды во внешнем открытом дренажном канале.

### 3 Условия эксплуатации хвостохранилища

Хвостохранилище, расположенное в пригородной части г. Новокузнецка (Кемеровская область) является односекционным, пойменного типа (ограждение дамбами части поймы реки). На него по пульпопроводу ( $D=350$  мм) поступают хвосты от руд черных металлов в виде пульпы с отношением количества твердых минеральных частиц к воде 1:20. Твердые частицы осаждаются, а осветленная вода сбрасывается в водоем. Пульпопровод располагается на гребне дамбы и хвосты укладываются от дамбы к бортам оврага. По всему фронту выпусков образуется пляж из наиболее крупных фракций пульпы, а мелкие фракции попадают в отстойный пруд. По проектной документации выход хвостов в среднем составляет около 1 млн т/год.

Проектная отметка заполнения хвостохранилища 2 очереди – 431,80 м, отметка верха дамбы 2 очереди – 432,50 м. 3 очередь расширения хвостохранилища имеет отметку верха дамбы – 436,50 м. Дамба 3 яруса отсыпана со сдвижкой внутрь хвостохранилища из песчано-галечниковых грунтов, разрабатываемых в карьере.

Все дамбы имеют откосы, равные 1:3. Максимальная высота дамб – 13,5 м, ширина по гребню – 5 м, а длина по периметру составляет 7350 м.

Намыв пляжа осуществляется по смоченному периметру неравномерно. Общая площадь пляжа и, соответственно, пылящей поверхности составляет около 1 000 000 м<sup>2</sup>. Наибольшие глубины отстойного пруда составляют 4 – 5 м.

Так как хвостохранилище расположено в заболоченной долине р. Кондомы, на некоторых участках низового откоса дамбы по ее периметру наблюдаются болотные озерки и канавы. С началом строительства хвостохранилища участок русла р. Кондомы был отведен в искусственный канал за предел площадки. Определенное влияние на обводненность

территории вокруг хвостохранилища оказывают канал фильтрационных вод и канал осветленной воды.

Для определения расхода сбрасываемой осветленной воды в хвостохранилище используется шахтный колодец, описанный выше в главе 1.

В основании дамб залегают высокопроницаемые галечниковые грунты, а потому наибольшая часть фильтрационных потерь (до 97%) происходит через основание дамбы. Еще одной характерной особенностью хвостохранилища является большая водонасыщенность ограждающих дамб, обусловленная более высокой проницаемостью грунтов тела дамб ( $K_{\phi}=0,79$  м/сут) по сравнению с хвостами ( $K_{\phi}=0,15$  м/сут). При наличии в основании высокопроницаемых грунтов основная часть фильтрационного потока сосредоточена ниже подошвы дамбы. Депрессионная поверхность является показателем обводненности дамбы и относительно низкое ее положение гарантирует нормальный режим эксплуатации сооружения.

Наличие в основании дамб водонасыщенных слабопрочных озерно-болотных отложений (оторфованных, илистых супесей и песков, торфа) и большая крутизна откосов на некоторых участках является одним из основных факторов, снижающих устойчивость дамб. Наиболее эффективным мероприятием, обеспечивающим надежную работу ограждающих дамб любого хвостохранилища, является снижение положения кривой депрессии. Этого можно достигнуть устройством различных дренажей, намывом пляжа, дополнительным экранированием, а также комплексным сочетанием перечисленных противофильтрационных мероприятий.

Пляж из плотных хвостов отодвигает урез воды в чаше хвостохранилища от более водопроницаемого тела дамбы, тем самым уменьшается обводненность сооружения, и, соответственно, увеличивается статическая устойчивость откосов дамбы.

При оптимальной по условиям фильтрации и устойчивости ширине пляжа не удастся избежать процесса пыления, особенно интенсивного в

летний сезон (май-июнь). Для хвостохранилища эта проблема имеет место быть вследствие климатических особенностей данного района, а также из-за наличия вблизи объекта населенного пункта.

Фильтрация, локальная неустойчивость откосов, пыление взаимосвязаны друг с другом и создают единый комплекс проблем. Но наиболее острой является проблема промерзания потока воды во внешнем дренажном канале, так как при замерзании воды фильтрационному потоку некуда будет поступать и может произойти высачивание или накопление воды на определенном участке, из-за чего грунт может вымываться и проседать, что может привести к обрушению дамбы.



#### **4 Фильтрационный режим и устойчивость дамбы на современном этапе эксплуатации хвостохранилища**

Движение жидкости (газа, газированной жидкости) в пористой среде называется фильтрацией. В гидротехнике при рассмотрении фильтрации имеются в виду пористые среды, образованные из грунтов (связных и несвязных), трещиноватых горных пород, бетона и других пористых материалов, а в качестве фильтрующейся жидкости рассматривается вода.

Различается два вида фильтрации – безнапорная и напорная.

Безнапорная фильтрация характеризуется наличием свободной депрессионной поверхности, соприкасающейся с атмосферой.

Напорная фильтрация характеризуется отсутствием свободной депрессионной поверхности, область фильтрации ограничивается сверху поверхностью сооружения или кровлей водоупорного грунта.

Мёрзлые грунты в природном состоянии водоупорны, однако даже при небольшом оттаивании массива изменяются их теплофизические и фильтрационные свойства, вследствие чего открываются новые пути движения фильтрационного потока.

В связи с необходимостью затопления пляжей для предотвращения пыления уровень воды в хвостохранилище следует поднимать и поддерживать в течение наиболее «сухой» части летнего периода. В результате будет увеличиваться расход фильтрации и произойдет поднятие депрессионной поверхности в теле дамбы, особенно в нижней части наружного откоса. Об этом можно судить по характерным внешним признакам – увлажнению поверхности откоса и формированию локальных фильтрационных выходов у его подошвы. Приближение уреза воды к внутреннему откосу дамбы и соответствующая активизация фильтрационного потока снижают статическую устойчивость сооружения.

Характерной особенностью фильтрационного режима хвостохранилища является более высокая водопроницаемость грунтов тела

дамбы ( $K_{\phi}=0,67$  м/сут) по сравнению с хвостами ( $K_{\phi}=0,15$  м/сут). При дальнейшей эксплуатации хвостохранилища и подъеме уровня воды в отстойном прудке обводненность дамб будет увеличиваться и сопровождаться дальнейшим развитием существующих, а также появлением новых зон высачивания фильтрата в нижней части откоса.

Итак, следует проанализировать состояние хвостохранилища с помощью поперечных сечений на нескольких пикетах (точках разметки расстояния), чтобы выявить наиболее сложный участок сооружения.

Выбор расчетных сечений происходит исходя из условий эксплуатации, расположения контрольных пьезометрических створов крутых участков низового откоса и локальных проявлений фильтрационного высачивания, наличия внешнего подтопления (каналы, затопленные и заболоченные понижения), параметров отстойного пруда вблизи дамбы (глубина воды, отметка поверхности) и иных деформаций.

На основе выполнения сечений проводится оценка устойчивости низового откоса дамбы для нормального и экстремального режимов эксплуатации хвостохранилища.

Нормальный режим характеризуется «сухим» состоянием надводной поверхности придамбового пляжа, отметки которой незначительно (в пределах нескольких сантиметров) превышают отметку уровня воды. С позиций фильтрационного состояния и устойчивости сооружения такой режим является оптимальным. Соответственно, фильтрационная и статическая прочность дамбы тем выше, чем шире пляж, отделяющий урез воды от верхового откоса. Но поддержание этого режима эксплуатации в течение всего года невозможно, поскольку ежегодно из-за отсутствия дождей и длительного воздействия ветра в течение мая – июня на интенсивно высыхающей поверхности пляжа активно развивается процесс пыления.

Из всех известных способов пылеподавления наряду с локальным дождеванием технологически наиболее простым и эффективным является временное обводнение «сухих» пляжей путем короткопериодного подъема

уровня воды в чаше хвостохранилища. Этот подъем должен приводить к затоплению пылящих поверхностей при минимальной толщине слоя воды, покрывающей пляж.

Временный (до двух месяцев) период эксплуатации хвостохранилища с затопленными пляжами является экстремальным с позиций фильтрационной прочности и устойчивости дамбы. В этот период урез воды приближается непосредственно к водопроницаемому верховому откосу дамбы, что предполагает некоторое поднятие депрессионной поверхности, активизацию существующих и появление дополнительных зон высачивания фильтрата в нижней части низового откоса и, как следствие, уменьшение его статической устойчивости.

Результаты оценки представлены в форме модели фильтрации в виде гидродинамических сеток, построенных для двух сравниваемых вариантов (ПК-49 и ПК-17) на чертеже №3. На сетках выделены:

- уровни воды в отстойном пруде и на затопленном пляже, определяющие верхнее граничное условие (контур питания);
- уровни воды в нижнем водоеме (канал, канава) или, при отсутствии такого водоема, уровни подземных вод в условных скважинах, определяющие нижнее граничное условие (контур стока);
- линии равных напоров (экипотенциали);
- депрессионные кривые (свободная поверхность фильтрационного потока);
- линии тока;
- расчетные депрессионные кривые;
- потенциально опасные круглоцилиндрические поверхности обрушения фильтрующего откоса, характеризующиеся недопустимо низкими значениями коэффициента устойчивости, требующими назначения локальных укрепительных мероприятий.

Из моделей фильтрации видно, что на обоих пикетах прогнозируется поверхностное высачивание, приводящее к разупрочнению грунта.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о допустимости краткосрочного (до двух месяцев) затопления пляжного пляжа при подъеме уровня воды в чаше хвостохранилища на 15-20 см. До начала затопления и в процессе эксплуатации необходимо провести уточняющую ревизию существующих и прогнозируемых участков высачивания и потенциально неустойчивых участков низового откоса.

## 5 Аналитический расчет глубины промерзания откоса

Расчет выполняется по методу Г.М. Фельдмана [1,3], в соответствии с которым нестационарные температурные поля в мерзлой и талой зонах грунта заменяются сменой стационарных состояний.

Расчет сезонного промерзания грунта выполнен для характерных условий. В расчете учитывается различная высота снежного покрова, изменяющегося в диапазоне от 0 до 0,3 м. Плотность снежного покрова равна  $190 \text{ кг/м}^3$ . Гравийно-галечниковый грунт с песчаным заполнителем имеет следующие теплофизические характеристики: плотность скелета грунта ( $\gamma_{ск}=1,92 \text{ г/см}^3$ ); весовая влажность  $W=0,1$ ; количество незамерзающей воды в мерзлом грунте  $W_{нз}=0,04$  при температуре замерзания  $t_3= - 0,1^\circ \text{ С}$ , теплопроводность грунта в мерзлом состоянии  $\lambda_m=2,2 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ . На поверхности снега поддерживается средняя за расчетный зимний период (ноябрь-март) постоянная отрицательная температура  $t_{п}=-17^\circ\text{С}$ . В качестве нижнего граничного условия задан постоянная положительная температура равная минимальной температуре фильтрационного потока в грунтовом массиве откоса,  $t_0=4^\circ\text{С}$ .

Глубина промерзания определяется по формуле:

$$\xi(\tau) = [-S + \sqrt{S^2 + (2\lambda_m(t_3 - t_{п})\tau) / Q_{ф}}] \mu \quad (1)$$

где  $S$  – мощность эквивалентного слоя мерзлого грунта, термическое сопротивление которого  $(S/\lambda_m)$  равно термическому сопротивлению снега ( $R_c$ ).

$$S = (h_{сн} / \lambda_{сн})\lambda_m \quad (2)$$

где  $\lambda_{сн} = 0,021 + 1,01 \cdot 10^{-3} \gamma_{сн}$ ;

$Q_{\phi}$  – количество тепла необходимое для замерзания 1 м<sup>3</sup> грунта, Дж/м<sup>3</sup>;

$$Q_{\phi} = \gamma_{ск} (W_{ск} - W_{нз}) \delta \quad (2)$$

где  $\delta=335,2 \cdot 10^3$  Дж/кг – удельная теплота фазовых переходов 1 кг воды;

$\mu$  – коэффициент, учитывающий влияние нижнего граничного условия на процессы сезонного промерзания;

$$\mu=1-0,033|t_0|=0,868;$$

$\tau=7,776 \cdot 10^6$  сек. – продолжительность промерзания.

Определим значения  $\lambda_{сн}$ ,  $S$ ,  $Q_{\phi}$ ,  $\mu$  и подставим их в расчетную формулу (1).

При  $h=0,3$  м:

$$\lambda_{сн} = 0,021 + 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 190 = 0,213$$

$$S = (0,3/0,213) / 2,2 = 3,1 \text{ м}$$

$$Q_{\phi} = 1920 (0,1 - 0,04) \cdot 335,2 \cdot 10^7$$

$$\xi (\tau) = [-3,1 + \sqrt{(3,1^2 + (2 \cdot 2,2(-0,1+17) \cdot 7,776 \cdot 10^6)/(3,862 \cdot 10^7))}] \cdot 0,868 = 1,6 \text{ м}$$

При  $h=0,15$  м:

$$S = (0,15/0,213) / 2,2 = 1,55 \text{ м}$$

$$\xi(\tau) = [-1,55 + \sqrt{(1,55^2 + (2 \cdot 2,2(-0,1+17) \cdot 7,776 \cdot 10^6) / (3,862 \cdot 10^7))}] \cdot 0,868 = 2,2 \text{ м}$$

При  $h=0,05$  м:

$$S = (0,05/0,213) / 2,2 = 0,5 \text{ м}$$

$$\xi(\tau) = [-0,5 + \sqrt{(0,5^2 + (2 \cdot 2,2(-0,1+17) \cdot 7,776 \cdot 10^6) / (3,862 \cdot 10^7))}] \cdot 0,868 = 2,95 \text{ м}$$

При отсутствии на поверхности снежного покрова формула (1) имеет вид:

$$\xi(\tau) = \sqrt{[(2\lambda_m |t_{п}| \tau) / (Q_{\phi} + 0,5 C_m |t_{п}|)]} \quad (3)$$

$$\xi(\tau) = \sqrt{[(2 \cdot 2,2 \cdot |17| \cdot 7,776 \cdot 10^6) / (3,862 \cdot 10^7 + 0,5 \cdot 2040000 \cdot |17|)]} = 3,2$$

Зависимость  $\varepsilon$  от  $h_{сн}$  характеризуется графиком на рисунке 2.

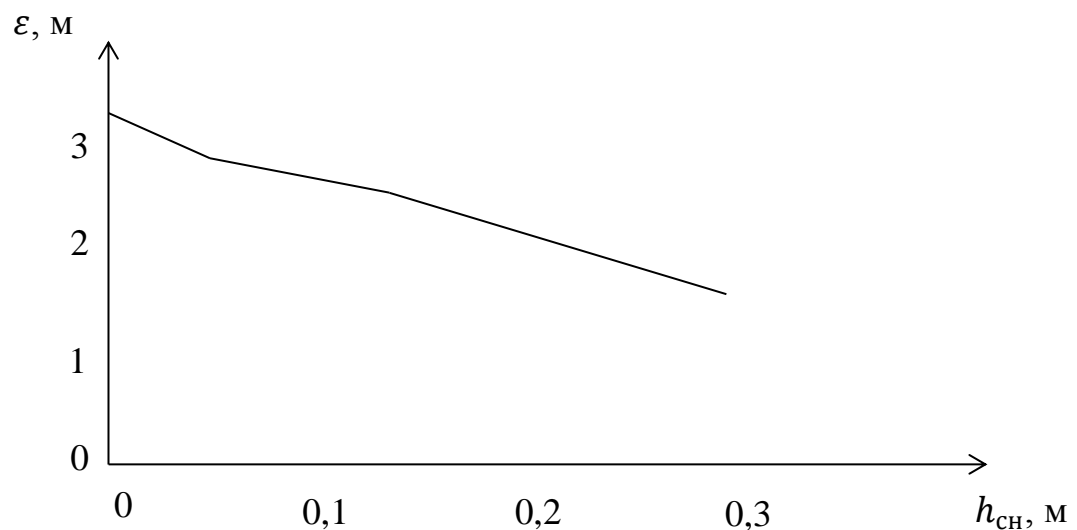


Рисунок 2 – График зависимости  $\varepsilon$  от  $h_{сн}$

Из расчетов следует, что слой снега даже незначительной толщины является эффективным теплоизолятором. Он заметно замедляет процесс промерзания при увеличении от 0,05 до 0,3 м. При полном отсутствии снежного покрова на поверхности ограждающей дамбы глубина промерзания равна 3,2 м.



## **6 Рекомендации по рациональной эксплуатации хвостохранилища**

Предаварийное состояние многих накопителей объясняется ошибками при проектировании, строительным браком и отсутствием правильной эксплуатации.

Основой грамотной эксплуатации накопителя является паспорт сооружения с указанием проектных параметров, результатами ежегодной съемки, контрольными параметрами дренажных систем, контрольными положениями уровней воды в пьезометрах, проектным температурным режимом и т.д. Обязательным приложением к паспорту должна быть инструкция по эксплуатации с поквартальной технологической картой заполнения емкости. В инструкции должны быть указаны наиболее опасные возможные нарушения в работе сооружения, требующие проведение аварийных работ, сроки их выполнения и т.д.

При эксплуатации накопителей обслуживающий персонал обязан:

- ежедневно контролировать положение уровня воды в отстойном пруде, состояние водосбросных сооружений и ограждающих дамб;
- еженедельно контролировать работу дренажных устройств, измерять фильтрационный расход;
- в начале и конце морозного периода контролировать температурный режим сооружений;
- по мере заполнения емкости и повышения уровня воды в пруде устанавливать шандоры в колодцах, регулировать дренажные устройства и др;
- при ежедневном осмотре ограждающих дамб необходимо все замеченные нарушения фиксировать в журналах с описаниями параметров нарушений;
- в конце летнего периода проверять состояние водоотводящих сооружений;

- постоянно проводить осмотр пульпопроводов;
- ежегодно выполнять геодезическую съемку полного профиля откоса.

При проведении обследований и ремонтно-восстановительных работ на участках с увлажненной поверхностью без выраженных фильтрационных выходов рекомендуется применять неглубокое (до 4 – 5 м) разведочное бурение.

При появлении на поверхности откосов и в нижнем бьефе в непосредственной близости от подошвы дамбы опасных сосредоточенных выходов фильтрации необходимо зафиксировать их на плане и привязать к контрольным пьезостворам.

При выявлении локальных нарушений прочности низового откоса – трещин, провалов, промоин, местных оползней необходимо фиксировать их на плане и вести ежедневные наблюдения за развитием деформаций. При прогрессирующем развитии этих нарушений необходимо проводить аварийно-восстановительные мероприятия.

Одним из основных требований к дальнейшему режиму эксплуатации хвостохранилища является достижение максимальной емкости заполнения. Данное требование может быть выполнено при подъеме уровня воды в отстойном пруде на предельно возможную проектную отметку и использование всего свободного объема, при обеспечении нормального фильтрационного режима и устойчивости ограждающей дамбы.

Заполнение остаточной емкости хвостохранилища соответствует параметрам последнего яруса наращивания; отметка гребня дамбы на этой стадии равна 436,5 м. Дополнительно могут быть проведены локальные мероприятия по укреплению фильтрующих откосов (устройство дренажных самоизливающихся колодцев на опасных участках высачивания; рекультивация; дренажные пригрузки).

Ширина пляжа, на которую стоит ориентироваться, находится в интервале 12-15 м. Пляж такой ширины позволяет предотвратить

непосредственный контакт слоя воды с проницаемым телом дамбы. При такой ширине пляжа на нем возможно проведение рекультивационных работ, выполняемых по мере намыва пляжа по всему смоченному периметру чаши хвостохранилища. Уменьшение ширины пляжа может привести к повышению кривой депрессии, что негативно сказывается на устойчивости и тепловом режиме, т.к. кривая депрессии попадает в зону сезонного промерзания на нижней части откоса. При указанной минимальной ширине пляжа низовой откос дамбы является устойчивым, за исключением поверхностных локальных зон, где из-за местных крутых уступов или недостаточно проницаемой пригрузки возможны поверхностные оползневые смещения. Эта проблема просто решается местной планировкой и отсыпкой плоских дренирующих пригрузок. Следует учесть, что отсыпка пригрузки из менее проницаемого материала, чем хвосты, может привести к еще большему поднятию выходной части кривой депрессии в зоне возможного высачивания потока на откос.

Устойчивость дамбы в таком состоянии является недостаточной особенно в зимний период за счет промерзания водонасыщенного фильтрующего откоса и создания напорной зоны под поверхностной мерзлой коркой. Для этого опасного случая может быть рассмотрено устройство продольного теплоизолированного перехватывающего дренажа. Выполняя круглогодичный перехват и отвод фильтрационных потоков, он значительно понижает депрессионную поверхность, а также повышает устойчивость. Устройства закрытых дренажных систем будут рассмотрены ниже.

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что в данных рекомендациях учитываются такие условия максимального затопления хвостохранилища, при которых не требуется значительных затрат на укрепление подошвы дамбы.

Необходимо вести систематический контроль за уровнями воды в чаше хвостохранилища, пьезометрах и нижних водоемах. Дренирующую

пригрузку следует выполнять из крупноскелетных грунтов с коэффициентом фильтрации более 10 м/сут.

Также целесообразно провести на крутых участках откоса планировку поверхности дамб всех ярусов путем подсыпки выравнивающего дренирующего слоя без срезки основного грунта.

## **7 Природоохранные противofiltrационные устройства и мероприятия в условиях сезонного промерзания**

Сложные климатические условия региона накладывают ограничения на возведение и эксплуатацию гидротехнических объектов. Поэтому при строительстве гидротехнических сооружений включают различные противofiltrационные устройства, которые будут рассмотрены ниже.

Противofiltrационные устройства предназначены для уменьшения фильтрационных расходов и градиентов напора, понижения уровня грунтовых вод, а также для защиты территорий и подземных вод от загрязнения фильтрующимися сточными водами.

Противofiltrационные элементы не должны подвергаться воздействию сезонного промерзания – оттаивания грунта на низовом откосе и гребне дамбы. Глубина сезонного промерзания – оттаивания не должна превышать толщину теплозащитного слоя из песчаного или крупно-скелетного грунта, отсыпаемого на гребне и низовом откосе и предохраняющего противofiltrационные устройства от возникновения опасных криогенных процессов – пучения, морозобойных трещин и солифлюкции.

При естественном оттаивании основания конструкция дамбы должна быть приспособлена к восприятию деформаций оттаивающих грунтов. В некоторых случаях необходимо предварительное оттаивание верхнего наиболее льдонасыщенного слоя до глубины залегания мерзлого водоупора.

### **7.1 Дренажные устройства**

Дренажные устройства имеют важное значение для обеспечения надежности и экологической безопасности гидротехнических сооружений. Они выполняют следующие функции:

- понижение кривой депрессии в теле ограждающих дамб;

- повышение устойчивости низового откоса;
- предотвращение выхода фильтрационного потока на внешний откос, в частности в зону сезонного промерзания;
- защита откоса от фильтрационных деформаций;
- организованный отвод профильтровавшейся воды и перехвата фильтрационного потока;
- снижение фильтрационного давления;
- ускорение консолидации намывных отложений и образование из них защитных экранирующих пляжей.

В зависимости от назначения и расположения различают дренажные устройства в ограждающих дамбах, в чаше накопителя и нижнем бьефе за пределами дамб (перехватывающие дренажи).

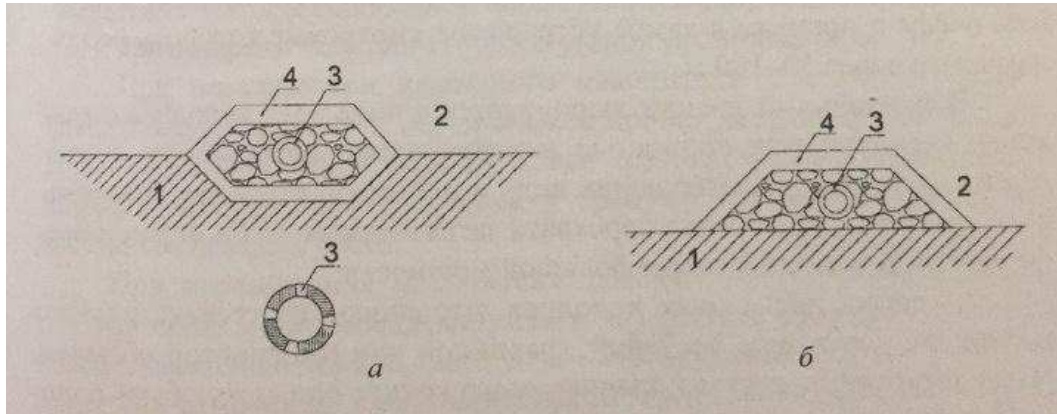
В качестве дренажных устройств первичных ограждающих дамб используют наклонные (на откосе), трубчатые, горизонтальные и комбинированные дренажи.

Дренажные устройства в чаше накопителя подразделяются на дренажи осушения, разгрузочные надэкранные и защитные подэкранные, внутренние дренажи двухслойных противофильтрационных экранов. Дренажи осушения располагаются в чаше накопителя перед верховым откосом первичной дамбы или над противофильтрационным устройством.

### **7.1.1 Горизонтальный трубчатый дренаж**

Горизонтальный трубчатый дренаж (рис.3) при любой форме его выполнения состоит из двух основных элементов: горизонтальной трубы и обратного фильтра, укладываемого по всему периметру трубы.

Дренажные трубы должны обладать не только прочностью, но и устойчивостью против воздействия агрессивных сточных вод. В этих условиях могут применяться керамические, железобетонные и стальные трубы, покрытые антикоррозионным слоем.



а – в форме шестиугольника; б – в форме трапеции;  
 1 – основание; 2 – дамба; 3 – дренажная труба; 4 – фильтровая обсыпка

Рисунок 3 – Основная конструкция трубчатого дренажа

Диаметр керамических труб может быть 200-600 мм при глубине заложения не более 6-7 м. Диаметр железобетонных труб может достигать от 200 до 300 мм.

Вода в дренажные трубы поступает через водоприемные отверстия в стенках либо не заделанные стыковые соединения.

Обратные фильтры в дренажах подбирают так, чтобы избежать выноса дренируемого грунта и колюматирования им материала обсыпки. Это достигается подбором состава фракция и толщины отдельных слоев фильтра.

Материалы, используемые для фильтрующих обсыпок, должны обладать требуемой прочностью и коррозионной устойчивостью против воздействия содержащейся агрессивной жидкости.

Для наблюдения за работой перехватывающего дренажа устанавливают смотровые колодцы, располагаемые через 50-100 м.

### 7.1.2 Вертикальный дренаж

Вертикальный дренаж выполняется в виде ряда колодцев (скважин), частично или полностью перерезающих дренируемую толщу грунта, и устройств, отводящих воду в насосную станцию. Применяется этот тип дренажа для перехвата загрязненных вод в нижнем бьефе при фильтрующей толще большей мощности.

Фильтры дренажных колодцев выполняют из геотекстильного материала или в виде песчаной, гравийной или щебенистой обсыпки. В зависимости от состава дренируемого грунта они могут быть однослойными и двухслойными.

Отбор воды из скважин вертикального дренажа осуществляется:

- самоизливом в самотечный коллектор, подводящий воду к насосной станции;
- с помощью сифонной линии трубопровода, к которой присоединены все дренажные колодцы;
- с помощью глубинных насосов, устанавливаемых отдельно в каждом колодце, со сбросом воды в водоотводной коллектор.

Дренажная система с самоизливом воды из колодца (скважины) с закрытым или открытым коллектором является наиболее простой и надежной в эксплуатации. Сифонный метод отбора и отвода воды из дренажных колодцев является более сложным в эксплуатации, но довольно эффективным. В конструктивном отношении эта система состоит из одной или двух линий сифонного трубопровода, к которым присоединены дренажные колодцы. Эти трубы укладывают непосредственно в грунт.

Установка глубинных насосов целесообразна лишь как временное мероприятие при необходимости перехвата загрязненных грунтовых вод в отдельных локальных зонах. Система является ненадежной при длительной эксплуатации вследствие частой остановки из-за ремонта и замены насосов.



### **7.1.3 Комбинированный дренаж**

Комбинированный дренаж состоит из горизонтальной трубчатой дрены и ряда вертикальных самоизливающихся дренажных колодцев. Применяют его в тех случаях, когда одна горизонтальная дрена не может обеспечить требуемого перехвата подземных вод. Этот дренаж весьма эффективен как при однородном фильтрующем слое большой мощности, так и при слоистом залегании грунтов разной проницаемости.

### **7.1.4 Незамерзающий дренаж**

Эффективность устройства незамерзающего дренажа подтверждается данными многолетних наблюдений на северных гидроотвалах.

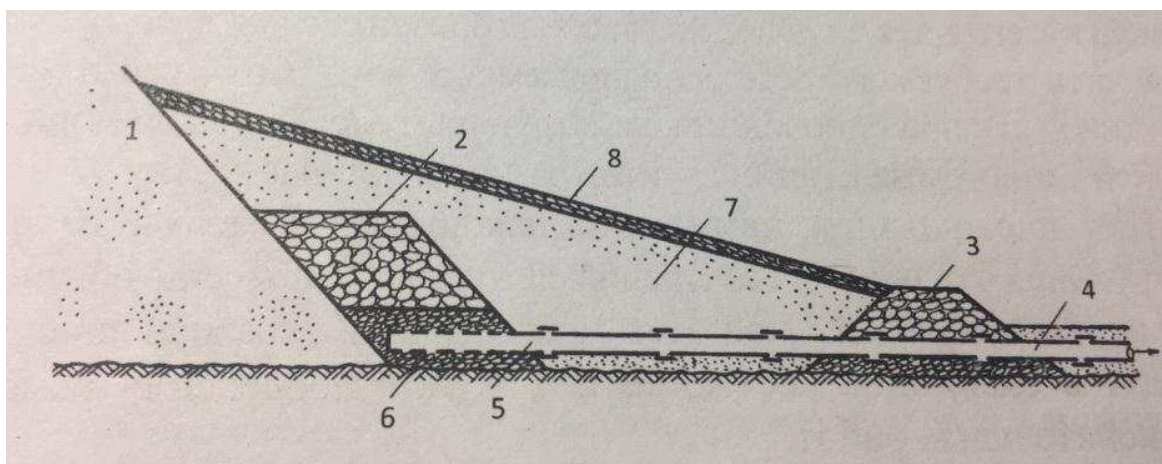
Особенностью незамерзающего дренажа является утепленная дренирующая пригрузка, которая может быть отсыпана на обширных по площади участках в процессе заделки провалов и промоин при упрочняющей отсыпке грунта на крутых деформируемых откосах. Так же пригрузка может применяться в тех случаях, когда не только требуется организовать перехват и отвод фильтрационных потоков, высачивающихся на низовой откос первичной дамбы, но необходимо также придать обводненному откосу дополнительную устойчивость. Рекомендуемая схема утепленной пригрузки для повышения местной устойчивости и незамерзающего отвода локальных фильтрационных выходов на гидроотвалах представлена на рисунке 4.

По теплоизолированному дренажному выпуску вода отводится от дамбы и возвращается в систему оборотного водоснабжения.

Теплозащитный слой назначается толщиной не менее 2,0 м.

В наиболее совершенной схеме такого дренажа предусмотрено применение греющего кабеля для защиты от промерзания водоприемной части дренажа и дренажного выпуска. Электрообогрев может осуществляться в дискретном режиме, когда греющий кабель включается в

периоды наиболее сильных морозов и при резком снижении расхода промерзающего фильтрационного потока.



1– существующая дамба; 2– наклонная дренажная призма из каменной наброски; 3– дополнительная внешняя упорная призма; 4– труба теплоизолированного дренажного выпуска (с гибкими стыками); 5 – перфорированный водоприемный участок дренажной трубы; 6 – однослойный обратный фильтр; 7– теплозащитный слой из грунтового материала; 8– крепление откоса

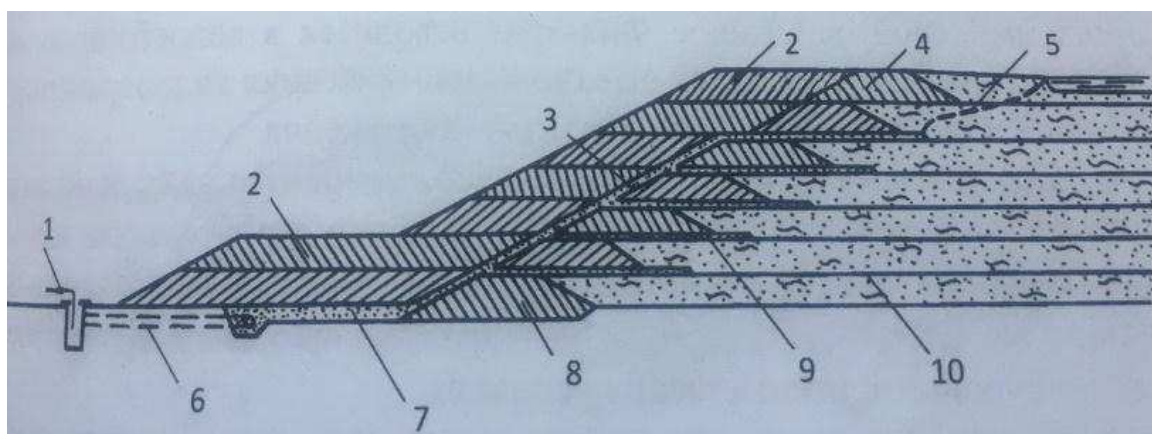
Рисунок 4 – Схема утепленной пригрузки

Для исключения фильтрационных деформаций защищаемого грунта в зонах выхода фильтрационных вод в дренажные устройства последние снабжаются обратными фильтрами, состоящими из одного или нескольких слоев с различной крупностью частиц, возрастающей по направлению движения потока. Слои фильтра должны быть подобраны таким образом, чтобы внутри каждого слоя не происходило перемещения частиц, а частицы одного слоя не должны проходить через поры смежного, состоящего из более крупного материала. Также частицы защищаемого грунта не должны выноситься через фильтр, за исключением небольшого количества пылеватых частиц (до 5%), вынос которых не нарушает прочности грунта.

С целью повышения надежности сооружения при промерзании фильтрующего низового откоса разработана конструкция намывной

ограждающей дамбы с горизонтальными дренирующими прослойками, отсыпанными с определенным интервалом по высоте в ходе поярусного наращивания намывного массива. Прослойки соединены с наклонным дренирующим слоем, отсыпанным на низовой откос и выведенным в основном перехватывающий горизонтальный дренаж. Все дренирующие элементы защищены от промерзания грунтовой теплоизоляционной призмой.

Данное сооружение представлено на рисунке 5.



1– сборная емкость; 2 – теплоизоляционная призма; 3 – наклонный дренирующий слой; 4– дамбы наращивания; 5 – кривая депрессии; 6 – теплоизолированный отводящий коллектор; 7 – основной горизонтальный дренаж; 8 – первичная дамба; 9 – дренирующие прослойки; 10 – ярусы намывных отложений

Рисунок 5 – Способ возведения дамбы с многоярусной незамерзающей системой

Такая дамба возводится таким образом: на подготовленное основание отсыпают первичную дамбу, устраивают горизонтальный дренаж, отводящий коллектор и водосборную емкость, после затем намывают первый ярус. Следом на его поверхность отсыпают дренирующую прослойку. Эту операцию лучше всего выполнять в зимний период, используя более несущую способность сезонно-мерзлого слоя намывных отложений. Далее

отсыпают дамбу наращивания и ведут намыв второго яруса. Аналогично возводят остальные ярусы.

На низовой откос, сформированный при отсыпке первичной дамбы и дамб наращивания, по мере возведения каждого яруса отсыпают наклонный дренирующий слой, пригружая его с низовой стороны отсыпкой грунта соответствующего яруса теплоизоляционной призмы. По такой последовательности операций обеспечивается надежное дренирование накопителя с начала его эксплуатации.

## **7.2 Противофильтрационные экраны**

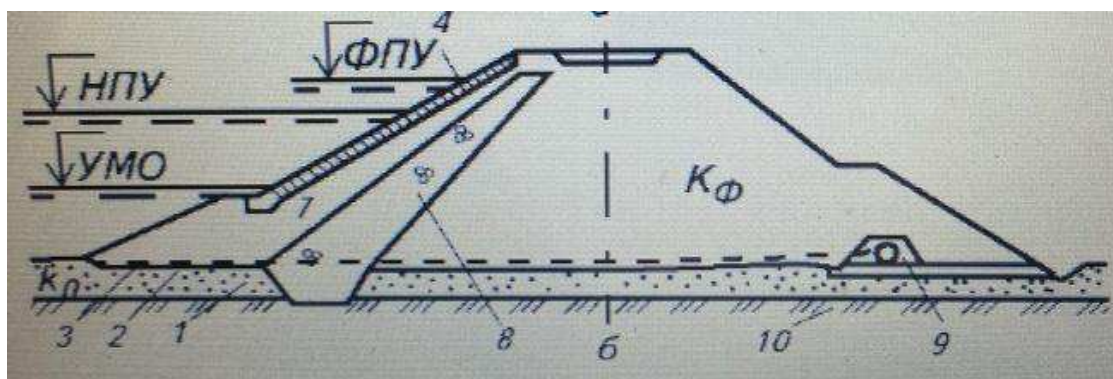
Противофильтрационные экраны накопителей подразделяются:

- а) по конструктивным признакам:
  - 1) жесткие (бетонные, золобетонные);
  - 2) пластичные (грунтовые, асфальтополимербетонные);
  - 3) гибкие (из пленочных материалов);
- б) по проницаемости:
  - 1) проницаемые (снижающие фильтрацию до допустимых пределов);
  - 2) непроницаемые (почти не допускающие фильтрацию).

Наибольшее распространение получили пластичные и гибкие экраны из грунтовых и пленочных материалов. Жесткие экраны применяются реже.

Конструктивная схема экрана приведена на рисунке 6, где НПУ (нормальный подпорный уровень) – это оптимальная наивысшая отметка водной поверхности, которая может длительно поддерживаться подпорным сооружением; ФПУ (форсированный подпорный уровень) – это отметка водной поверхности, превышающая НПУ, которая определяется, исходя из площади водохранилища и максимально возможного притока воды. Превышение этого уровня может привести к переливу через гребень плотины и к другим аварийным ситуациям; УМО (уровень мертвого объема) – это

отметка водной поверхности, соответствующая наибольшему опорожнению емкости.



- 1 – проницаемое основание; 2 – подошва плотины; 3 – поверхность грунта;  
4 – крепление верхового откоса; 7 – пригрузка экрана; 8 – экран;  
9 – трубчатый дренаж; 10 – водоупор

Рисунок 6 – Схема экрана

Экраны могут быть как однослойными, так и многослойными. В однослойных экранах противофильтрационным элементом является слой из малопроницаемого материала (полимерная пленка, асфальтобетон и пр.).

Для предохранения от механического повреждения пленочный экран укладывают на подстилающий слой толщиной 0,1 – 0,3 м и покрывают защитным слоем. Для подстилающего и защитного слоя рекомендуется применять песчаные грунты, хвосты и золошлаки. Толщина защитного слоя при устройстве его на откосе дамбы должна быть не менее 0,5 м.

Требования к материалам защитного и подстилающего слоев пленочных экранов жестко ограничивают состав используемых грунтов. Считается, что присутствие в грунте защитного или подстилающего слоев отдельных частиц крупностью до 40 мм допустимо. Тем более при образовании сквозного отверстия крупные частицы в большинстве случаев остаются в нем, тем самым создавая некоторое сопротивление фильтрации.

При проектировании экранов из полиэтиленовой пленки в первую очередь следует рассматривать возможность укладки пленки на естественное грунтовое основание. Грунтами естественного основания могут являться супесчаные и суглинистые грунты с включениями зерен с максимальной крупностью до 40 мм. Естественное основание перед укладкой на него пленки должно быть очищено от крупных камней и укатано катками.

Практика показывает, что избежать повреждений пленочных элементов практически невозможно, поэтому необходимо учитывать неизбежность повреждений при назначении параметров экрана.

Более эффективными однослойными противofильтрационными экранами являются экраны из уплотненных качественных глинистых грунтов. При проектировании таких экранов нужно учитывать необходимость укладки защитного слоя для защиты экрана от высыхания и растрескивания. Также стоит принять во внимание, что жирные глины являются трудно укладываемым материалом.

Двухслойные экраны состоят из двух противofильтрационных грунтовых слоев (глинистых, пленочных), разделенных дренажным слоем из грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 5-10 м/сут. Этот слой выводится в незамерзающий трубчатый дренаж. Двухслойные экраны обладают большой водонепроницаемостью, а при создании в дренажном слое противодавления такой экран может рассматриваться как полностью водонепроницаемый.

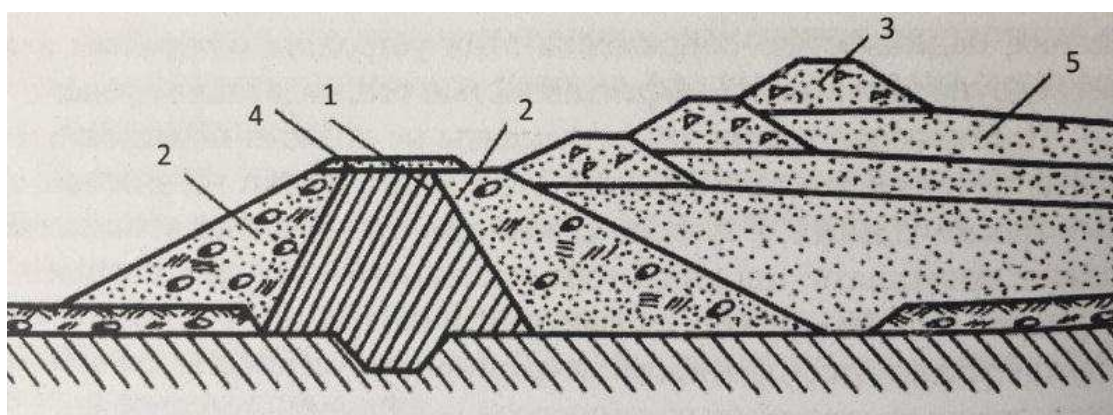
### **7.3 Ядра и диафрагмы грунтовых плотин и дамб**

Такого рода противofильтрационные устройства выполняют внутри тела дамб или плотин. Задачами таких устройств являются:

- уменьшение фильтрационного расхода;
- уменьшение пьезометрических уклонов фильтрационного потока в теле плотины и тем самым повышение ее фильтрационной прочности;

- снижение кривой депрессии в низовой части плотины и тем самым увеличение устойчивости низового откоса плотины;
- решение проблемы опасности пучения грунта зимой.

*Грунтовое ядро вертикальное* (рис.7) часто располагают по оси плотины. Если ядро сдвинуто в сторону верхнего бьефа, повышается устойчивость низового откоса, так как уменьшается фильтрационная сила и увеличивается объем сухого грунта, для которого выше сдвиговые характеристики.



- 1 – ядро из связного грунта; 2, 3 – упорные призмы и дамбы наращивания;  
4 – защитный слой; 5 – намывные отложения

Рисунок 7 – Дамба с центральным ядром

При *наклонном ядре* уменьшается поровое давление и ускоряется процесс консолидации грунта (в высоких плотинах). Иногда делают ядро криволинейным, что улучшает его напряженное состояние и повышает трещиностойкость. Толщина ядра поверху назначается от 0,8 м, при использовании других механизмов – более 3 м.

*Диафрагмы* (рис.8) могут быть гибкими (из полиэтиленовой пленки), бетонными, асфальтобетонными или железобетонными.

Также диафрагмы выполняют вертикально (более надежны при неравномерных осадках основания или при сейсмических воздействиях), с наклоном или переменным наклоном.

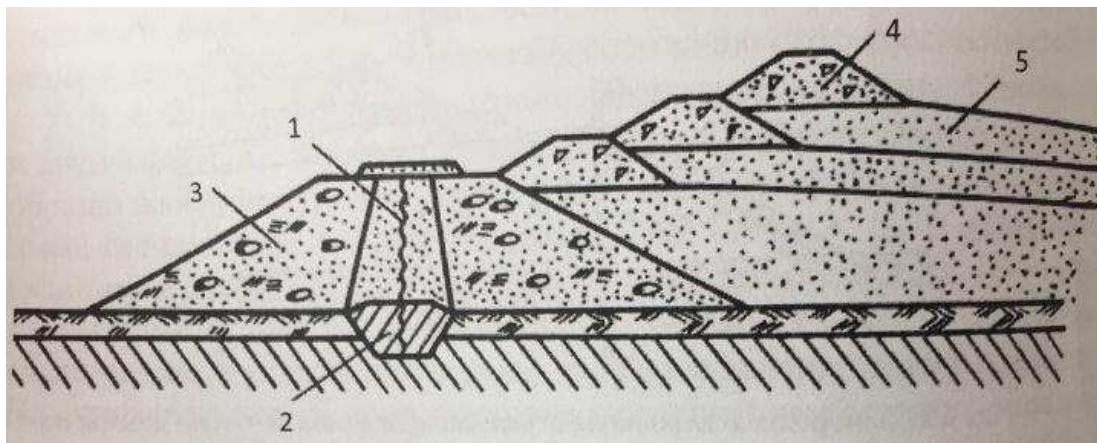
Бетонные и железобетонные диафрагмы покрывают гидроизоляцией и укладывают глинистый грунт для того, чтобы избежать возникновения трещин.

Применение гибких противofiltrационных элементов из полиэтиленовой пленки рекомендуется ввиду отсутствия качественных глинистых грунтов и в случае технико-экономической нецелесообразности применения таких грунтов, переход которых из льдонасыщенного в переувлажненное состояние существенно осложняет технологию их заготовки, подсушки, отсыпки и уплотнения.

Прочность диафрагмы из полиэтиленовой пленки, а также фильтрационная устойчивость дамбы обеспечиваются при выполнении некоторых требований:

- льдонасыщенные грунты в основании диафрагмы необходимо оттаивать, уплотнять либо заменять; естественное оттаивание и тепловая осадка оснований низового и верхнего откосов первичной дамбы допускаются лишь при устройстве из песка или зернистых отходов защитных зон, предохраняющих диафрагму от повреждения при деформации откосов;
- на гребне дамбы необходимо отсыпать теплозащитный слой из непучинистого грунта, толщина которого должна превышать глубину сезонного промерзания на 15%;
- рекомендуется применять полиэтиленовую пленку толщиной 0,2 – 1 мм, морозостойкостью до -70 °С;
- соединения полотнищ пленки нужно выполнять на сварке специальным переносным прибором;
- подстилающие и защитные слои, внутри которых укладывают пленку, следует отсыпать из песчаного грунта;
- в процессе послойной отсыпки защитных и подстилающих слоев целесообразно осуществлять волнистую укладку пленки в вертикальных и наклонных диафрагмах, благодаря чему будет повышаться прочность при осадке оттаивающего основания.





1 – песчаное ядро и диафрагма из пленки; 2 – зуб из суглинка; 3,4 – упорные призмы и дамбы наращивания; 5 – намывные отложения

Рисунок 8 – Дамба с пленочной диафрагмой

Сопряжение с основанием противофильтрационных устройств из глинистых грунтов или полиэтиленовой пленки выполняют с помощью зуба из талого суглинка, плотно уложенного в траншею. Глубина заделки зуба в плотный, слабопроницаемый массив основания должна быть не менее 1 м. Зуб и завеса должны прорезать все поверхностные слои основания до плотных пород, осадка которых при оттаивании не приведет к деформации противофильтрационного устройства.

## **8 Предлагаемые варианты устройства незамерзающих дренажных систем**

Для того, чтобы устранить проблему промерзания внешнего открытого канала на хвостохранилища, будет вполне уместно использовать незамерзающий дренаж, состоящий из самой дрены и утепленной дренирующей пригрузки.

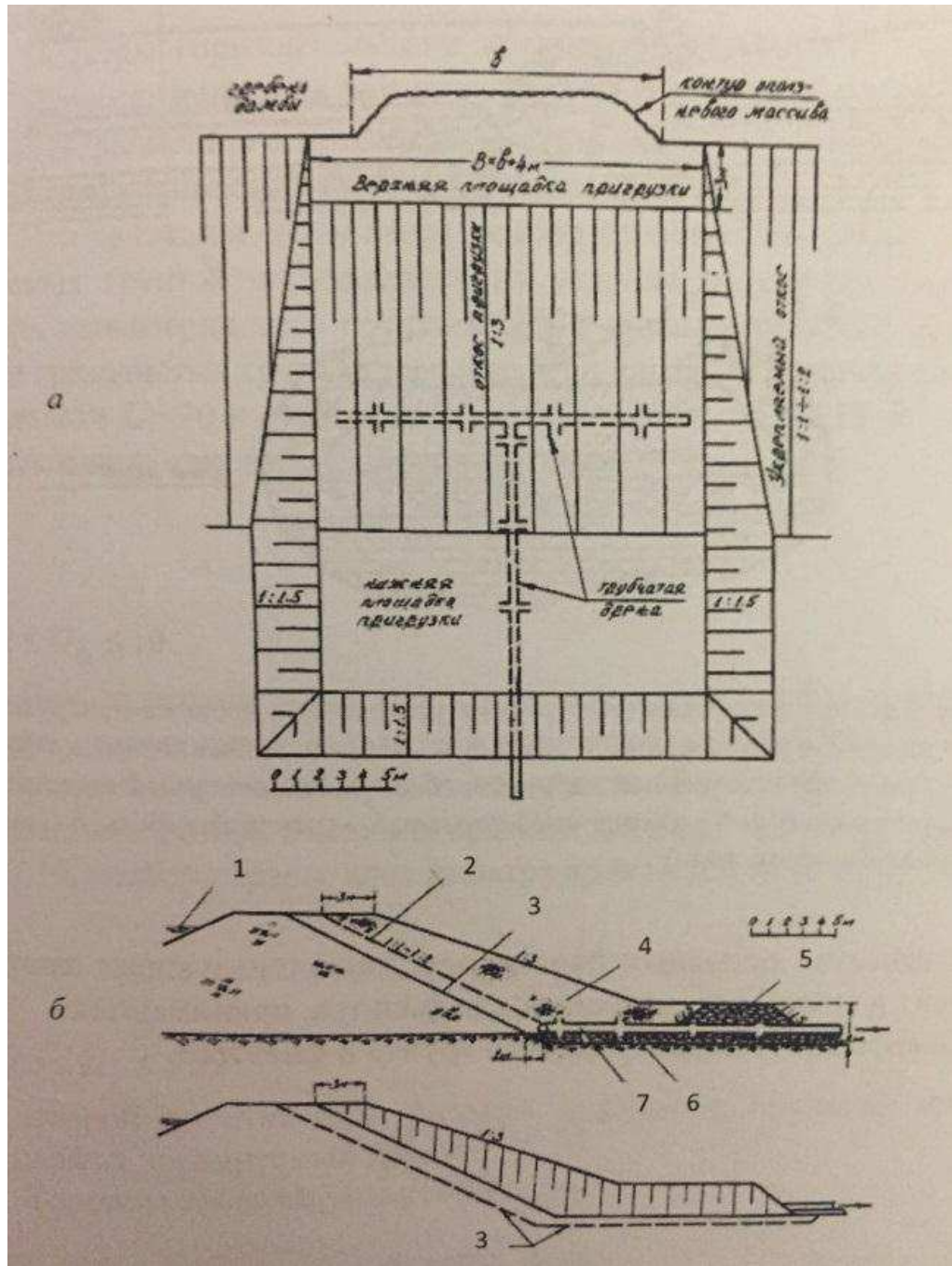
В качестве первого варианта предлагается выполнить дренирующую пригрузку с локальным незамерзающим дренажом, изображенную на рисунке 9.

Такое дренажное устройство помимо функции организованного перехвата и отвода фильтрационных потоков защищено от промерзания, а также придает откосу дополнительную устойчивость.

В наиболее совершенной конструктивной схеме такого дренажа предусматривается греющий кабель для защиты от промерзания водоприемной части дренажа и дренажного выпуска. Но в данном случае это нецелесообразно, так как, во-первых, высоты дренирующей пригрузки достаточно, чтобы предотвратить замерзания фильтрационного потока, во-вторых, выполнение прокладки кабеля экономически затратно, и в третьих, такая система ненадежна при повреждениях и отключениях электроснабжения.

Для исключения фильтрационных деформаций защищаемого грунта в зонах выхода фильтрационных вод одним из элементов устройства дренажа является дренажная обсыпка, состоящая из одного или нескольких слоев с различной крупностью частиц. В данном случае дренажная обсыпка выполнена из гравия.

Внешняя упорная призма является опорой для утепленной дренирующей пригрузки, которая выполняется из крупнозернистого грунта (гравия). А сама дренирующая пригрузка в данном случае выполнена из хвостов, высотой от двух метров.



а – вид сверху; б – поперечное сечение;

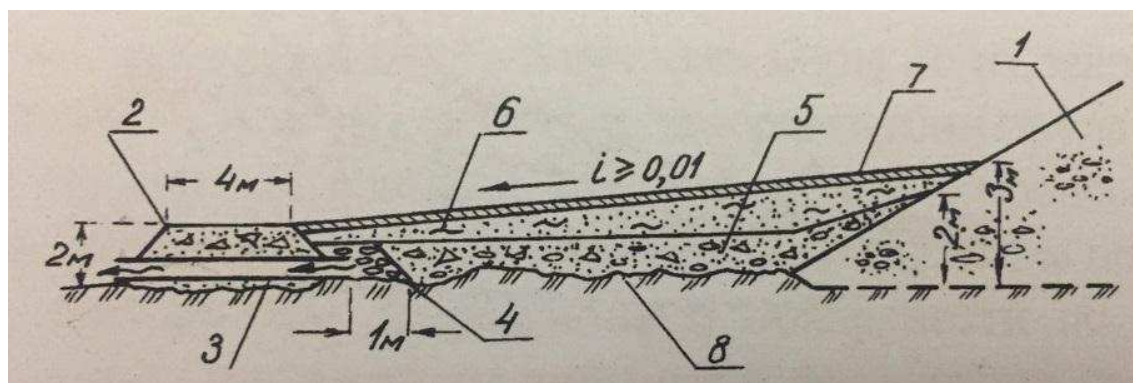
1 – пруд; 2 – контур укрепляемого откоса; 3 – контур выемки; 4 – пригрузка; 5 – внешняя упорная призма; 6 – дренажная обсыпка; 7 – гибкая дрена

Рисунок 9 – Пример выполнения дренирующей пригрузки и локального незамерзающего дренажа

По всей трубе расположены водоприемные отверстия для поступления воды.

Второй вариант дренажной системы представлен на рисунке 10. Конструкция данного дренажа аналогична конструкции первого.

Данные мероприятия представлены на чертеже 4.



1 – низовой откос; 2 – внешняя упорная призма; 3 – водопропускная труба; 4 – обратный фильтр; 5 – дренирующий слой; 6 – теплозащитный слой; 7 – рекультивационный слой; 8 – поверхность укрепляемого основания

Рисунок 10 – Второй вариант выполнения незамерзающего дренажа и дренирующей утепленной пригрузки

Первый вариант дренажного устройства выполняется для более опасных участков, является более сложным, так как требуется прокладка труб большой протяженности. Поэтому для данного хвостохранилища целесообразнее применить второй вариант незамерзающего дренажа, так как этот вариант больше подходит для километровых участков и требует меньшее количество труб, следовательно, этот вариант является экономичным. Также, этот вариант подходит для более спокойных фильтрационных условий.

## **9 Натурные наблюдения и контрольно – измерительная аппаратура**

Для наблюдений за положением депрессионной поверхности и другими параметрами фильтрационного потока применяются пьезометры, устанавливаемые в контрольных створах, расположенных перпендикулярно к продольной оси дамбы.

Замеры уровня воды в пьезометрах производят один раз в 2 – 3 месяца.

Схема оборудования пьезометрических створов для данного хвостохранилища изображена на чертеже №5.

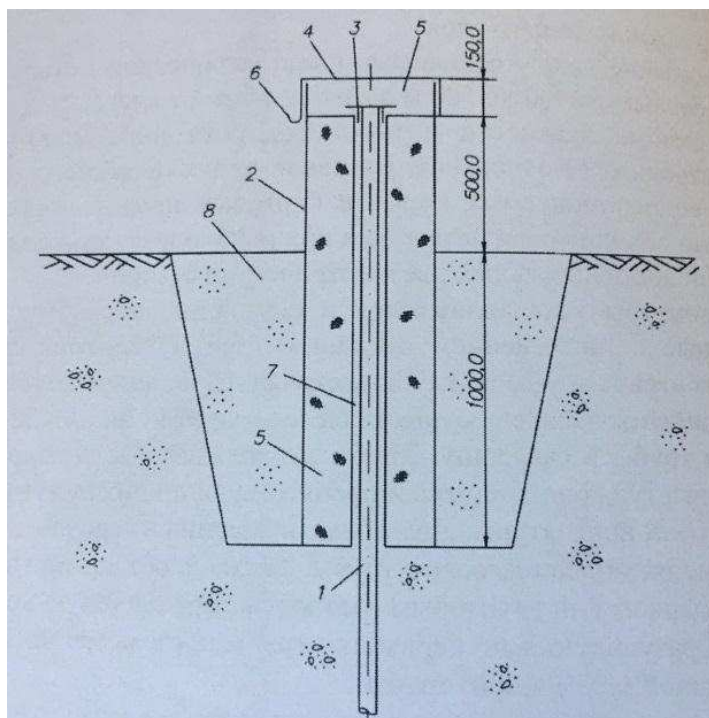
Пьезометр П – 1 предназначен для контроля за параметрами фильтрационного потока вблизи контура питания. Он устанавливается у внешней бровки гребня первичной дамбы. По мере заполнения накопителя и отсыпки последующих ярусов дамб наращивания на них с соответствующим смещением в сторону пруда устанавливаются новые, более глубокие пьезометры П – 2, П – 3 и т.д. Таким образом, развитие каждого створа продолжается в течение всего периода эксплуатации накопителя.

Иногда в нижнем бьефе у подошвы откоса устанавливают пьезометр П – 0 для контроля за фильтрационным потоком в зоне высачивания. При расположении дренажа по низовым откосом или внутри его, а также при устройстве внешнего дренажа, защищенного от промерзания теплозащитной призмой, нижний пьезометр устанавливается после устройства локальных планировок и подсыпок на поверхности основания в нижнем бьефе.

Пьезометры устанавливаются в скважины, в слабых грунтах пробуренные с применением обсадных труб. Изменение диаметра и толщины стенок трубы по глубине скважины не допускается.

Соединение звеньев осуществляется муфтами на резьбе по мере опускания трубы в скважину. Трубы не должны иметь искривлений и вмятин, выступающих внутрь и препятствующих погружению в них измерительной аппаратуры. Для предотвращения коррозии целесообразно

применять пластмассовые трубы. Также необходимо тщательно заполнять песком или грунтовым раствором вертикальную кольцевую полость, образуемую по периметру трубы пьезометра после извлечения обсадной (временной) трубы.

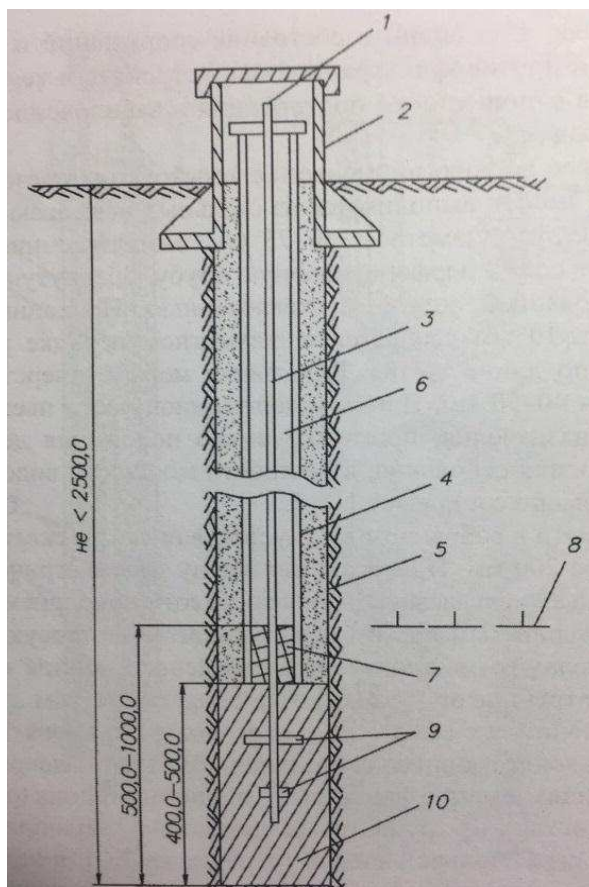


- 1 – труба пьезометра; 2 – оголовок; 3 – крышка пьезометра с приваренной к ней рукояткой; 4 – крышка оголовка; 5 – теплоизоляция; 6 – скобы для замка; 7 – густая смазка; 8 – обратная засыпка с уплотнением

Рисунок 11 – Съемный защитный оголовок пьезометра

Внешняя часть пьезометров оборудуется теплозащитными оголовками (рис.11). Выполнение требований по теплоизоляции оголовка пьезометра снижает опасность образования в нем инея и льда при резких перепадах наружной и внутренней температур в холодное время года.

Оголовок назначается диаметром от 500 мм. Теплоизоляция выполняется из минваты или пенопласта. Функция густой смазки заключается в заполнении зазора между трубой пьезометра и внутренней трубой оголовка.



1 – оголовок марки; 2 – защитный оголовок с крышкой; 3 – штанга марки из трубы; 4 – защитная труба; 5 – скважина; 6 – смазочное масло; 7 – пеньковый сальник; 8 – граница сезонного промерзания; 9 – поперечины; 10 – цементный раствор

Рисунок 12 – Поверхностная марка для наблюдений за осадкой

Также в пьезометрических створах устанавливаются поверхностные осадочные марки (рис.12), предназначенные для контроля деформаций грунта (его осадкой). Защитный оголовок обычно имеет диаметр 200 мм, защитная труба обладает диаметром 50 – 70 мм, скважина – 180 – 200 мм.

Расстояние между основными пьезометрическими створами назначают равным от 100 до 500 м в зависимости от класса сооружения, высоты дамбы, сложности и неоднородности инженерно-геологического строения ее основания.

По конструктивному признаку пьезометры делятся на некоторые типы, основными из них являются:

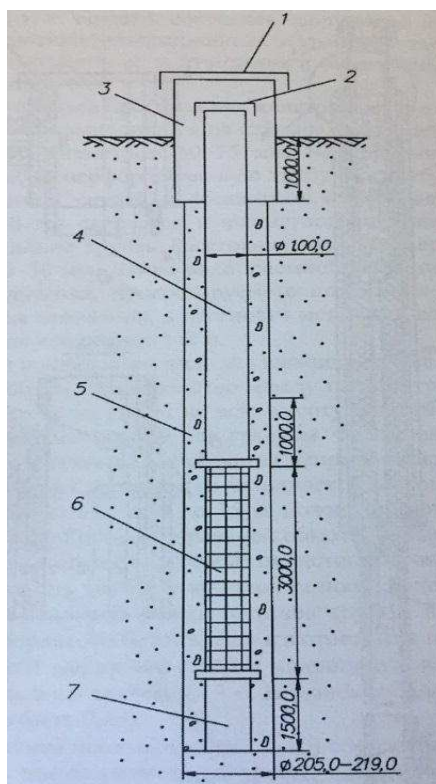
- пьезометр с фильтром из сетки и стеклоткани, выполняется из стальных нержавеющей или пластмассовых труб. Водоприемник такого пьезометра представляет собой перфорированную трубу, обернутую пластмассовой гофрированной сеткой и стеклотканью;
- пьезометр с проволочной обмоткой фильтра;
- пьезометр с пористым фильтром из бетона, который состоит из трубы и водоприемника. Водоприемник представляет собой стальной стакан (отрезок трубы), в котором размещен фильтр из пористого бетона;
- незамерзающий пьезометр состоит из водоприемника с отстойником и пьезометрической трубы, которая выводится на поверхность сооружения и служит для замеров положения депрессионной поверхности или напора. Особенностью такого водоприемника является резиновая оболочка, расположенная внутри корпуса и заполненная незамерзающей жидкостью (антифризом). Оболочка выполняется из морозостойкой резины и служит для передачи давления фильтрационной воды в теле сооружения на жидкость внутри пьезометра.

Для данного хвостохранилища, расположенного в Кемеровской области применительно использование пьезометров с проволочной обмоткой фильтра, представленного на рисунке 13.

Пьезометр устанавливается в скважину диаметром 150 – 200 мм, пробуриваемую до нужной отметки, при необходимости с обсадной трубой. Крышка водоприемника соединяется с корпусом по резьбе, в нижней части водоприемника находится отстойник, который служит для осаждения мелких частиц грунта, попавших в водоприемник.

Следует выявлять и контролировать осадки, выпучивания, смещения всех пьезометров, осадочных марок и другой контрольно-измерительной аппаратуры, так как по их деформациям можно своевременно выявить опасные осадки и оползневые смещения откосов и принять меры по их закреплению.





1 – крышка оголовка; 2 – крышка пьезометра; 3 – теплозащитный оголовок;  
4 – труба пьезометра; 5 – обсыпка фильтра; 6 – фильтр; 7 – отстойник

Рисунок 13 – Пьезометр с проволочной обмоткой фильтра

На все пьезометры и осадочные марки должна быть составлена исполнительная документация, содержащая начальные координаты, отметки низа и верха труб и поверхности грунта, литологические колонки, построенные при бурении скважин, материалы исходной топографической съемки наблюдательных створов, с изображением полных поперечных профилей, исчерпывающим образом характеризующих фактическое исходное состояние хвостохранилища в момент начала регулярных наблюдений.

Для установки в ограждающих дамбах хвостохранилища могут быть рекомендованы пьезометры обычного типа, а также специальные незамерзающие жидкостные, разработанные для суровых климатических условий.

Пьезометры в наблюдательных створах рекомендуется размещать таким образом и в таком количестве, чтобы можно было с достаточной полнотой осветить всю картину фильтрации в накопителе, то есть оценить состояние сооружений и бортов чаши, дренажных и противофильтрационных устройств и территории нижнего бьефа в отношении ее подтопления и заболоченности фильтрационными водами.

Измерение уровня жидкости в пьезометре может производиться таким образом:

Измеряемый напор определяется по формуле

$$H = h (\rho_a / \rho_v)$$

где  $h$  – высота жидкости в пьезометрической трубе;

$\rho_a$  – плотность жидкости;

$\rho_v$  – плотность воды.

Отметка уровня воды в месте установки пьезометра определяется прибавлением полученной величины напора к нулевой отметке, за которую принимается нижняя часть водоприемника.

При выявлении в процессе эксплуатации подъема уровня воды в пьезометрах более чем на 1 м по сравнению с безопасным положением депрессионной поверхности по паспорту сооружения и появлении внешних признаков фильтрации на поверхности откоса (обводнение, наледи, суффозия и др.), следует устанавливать ежедневные наблюдения за выявленными нарушениями и проводить оперативные контрольные расчеты устойчивости с учетом изменений фильтрационного и температурного режимов.

## **10 Нормативно – правовая база обеспечения безопасности гидротехнических сооружений**

Гидротехнические сооружения обладают высоким уровнем ответственности, их разрушения могут сопровождаться весьма значительными ущербами экономического, социального и экологического характера.

Вопрос безопасности гидротехнических сооружений является актуальным для всех стран мира, в связи с потенциальной опасностью возникновения крупных аварий техногенных чрезвычайных ситуаций.

Одним из важнейших вопросов является вопрос государственного регулирования отношений в области обеспечения безопасности гидротехнических сооружений.

### **10.1 Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений»**

В качестве основного законодательного документа регулирования отношений в РФ в данной области является ФЗ №117 от 21.07.1997 г: «О безопасности гидротехнических сооружений».

Настоящий Федеральный закон регулирует отношения, возникающие при осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, эксплуатации, реконструкции, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений, устанавливает обязанности органов государственной власти, собственников гидротехнических сооружений и эксплуатирующих организаций по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений.

Действие Федерального закона № 117-ФЗ распространяется на все ГТС, аварии на которых могут создать чрезвычайные ситуации, сопровож-

дающиеся угрозой для жизни и здоровья людей, нарушением условий их труда и жизнедеятельности.

Согласно этому закону для обеспечения безопасности гидротехнических сооружений предъявляются следующие требования:

- представление деклараций безопасности гидротехнических сооружений;
- обеспечение допустимого уровня риска аварий гидротехнических сооружений;
- осуществление федерального государственного надзора в области безопасности гидротехнических сооружений;
- осуществление мер по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, в том числе установление критериев их безопасности, оснащение гидротехнических сооружений техническими средствами в целях постоянного контроля за их состоянием, обеспечение необходимой квалификации работников, обслуживающих гидротехническое сооружение;
- необходимость заблаговременного проведения комплекса мероприятий по максимальному уменьшению риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях;
- ответственность за действия (бездействие), которые повлекли за собой снижение безопасности гидротехнических сооружений ниже допустимого уровня.

## **10.2 Федеральный государственный надзор в области безопасности гидротехнических сооружений**

Федеральный государственный надзор регулируется постановлением Правительства РФ вместе с Положением о федеральном государственном надзоре в области безопасности гидротехнических сооружений от 27 октября 2012 года.

Настоящее Положение определяет порядок осуществления федерального государственного надзора в области безопасности гидротехнических сооружений, повреждение которых может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций.

Задачей федерального государственного надзора является предупреждение, выявление и пресечение нарушений юридическими лицами, их руководителями и иными должностными лицами, индивидуальными предпринимателями, их уполномоченными представителями, осуществляющими эксплуатацию гидротехнических сооружений, требований к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, установленных законодательством Российской Федерации.

Основными федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными на осуществление федерального государственного надзора, является:

- федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору – в отношении гидротехнических сооружений, за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений;
- федеральная служба по надзору в сфере природопользования;
- инспекционные комиссии, формирующиеся органами государственного надзора для проверки гидротехнических сооружений.

Федеральный государственный надзор включает в себя:

- организацию и проведение плановых и внеплановых проверок юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, сроки, периодичность, порядок назначения и оформления результатов которых установлены федеральными законами;
- принятие предусмотренных законодательством Российской Федерации мер по пресечению и (или) устранению последствий выявленных нарушений;
- систематическое наблюдение за исполнением обязательных требований;

– анализ и прогнозирование состояния исполнения обязательных требований при осуществлении деятельности в области безопасности гидротехнических сооружений юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями.

При проверке гидротехнических сооружений осуществляется государственный контроль (надзор) за деятельностью собственников гидротехнических сооружений и (или) эксплуатирующих их организаций, а также подрядных организаций при капитальном ремонте, эксплуатации, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений в целях оценки соблюдения обязательных требований.

### **10.3 Нарушение законодательства о безопасности гидротехнических сооружений**

Нарушениями законодательства о безопасности гидротехнических сооружений являются:

- строительство и эксплуатация гидротехнического сооружения, хозяйственное или иное использование водотоков и прилегающих к ним территорий ниже и выше плотины без соответствующего разрешения;
- невыполнение требований представления декларации безопасности гидротехнического сооружения или проведения государственной экспертизы проектной документации гидротехнических сооружений или государственной экспертизы декларации безопасности гидротехнических сооружений;
- невыполнение предписаний органов государственного надзора;
- нарушение обязательных требований при проектировании, строительстве, эксплуатации, капитальном ремонте, реконструкции, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений;
- гидротехнических сооружений при возросшем уровне вредных природных или техногенных воздействий, ухудшении показателей прочности

и водонепроницаемости материалов, из которых возведены гидротехнические сооружения, и пород основания, неудовлетворительных условиях эксплуатации, технического оснащения гидротехнических сооружений и организации контроля (мониторинга) за их безопасностью;

– отказ от передачи органам государственного надзора информации об угрозе аварий гидротехнических сооружений или сокрытие такой информации от данных органов, искажение такой информации, а в случае непосредственной угрозы прорыва напорного фронта – от органов государственной власти, органов местного самоуправления и от работников находящихся в аварийном состоянии гидротехнических сооружений, населения и организаций в зоне возможного затопления.

#### **10.4 Ответственность за нарушение законодательства о безопасности гидротехнических сооружений**

Должностные и иные лица за нарушение законодательства о безопасности гидротехнических сооружений, совершение действий (бездействие), приведших к снижению безопасности гидротехнических сооружений или к возникновению чрезвычайных ситуаций, несут ответственность в соответствии с законодательством.

Действующее законодательство РФ предусматривает 4 вида юридической ответственности:

- административную ответственность;
- уголовную ответственность;
- гражданско-правовую ответственность;
- дисциплинарную ответственность.

#### **10.5 Декларация безопасности гидротехнических сооружений**

Декларирование безопасности гидротехнического сооружения законодательно закреплено в Федеральном законе «О безопасности гидротехнических сооружений» и постановлениях Правительства РФ.

Декларация безопасности гидротехнического сооружения – основной документ, в котором обосновывается безопасность гидротехнического сооружения и определяются меры по обеспечению безопасности гидротехнического сооружения с учетом его класса.

Декларирование безопасности гидротехнических сооружений, аварии на которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций, является обязательным при их проектировании, строительстве, вводе в эксплуатацию, эксплуатации, выводе из эксплуатации, а также после реконструкции, при капитальном ремонте, восстановлении или консервации.

Согласно Положению, Министерство природных ресурсов Российской Федерации организует проведение декларирования безопасности гидротехнических сооружений поднадзорных объектов, аварии на которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций.

Положение определяет, что орган надзора за безопасностью гидротехнических сооружений во взаимодействии с Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий устанавливает:

- дополнительные требования к содержанию деклараций безопасности и методику их составления в зависимости от назначения, класса, конструкции, условий эксплуатации и специальных требований к безопасности гидротехнического сооружения;
- форму деклараций безопасности;
- перечень объектов, имеющих гидротехнические сооружения, подлежащие декларированию.

Для установления полноты и достоверности сведений, указанных в декларации безопасности, проводится их государственная экспертиза, осуществляемая экспертными центрами, определяемыми органом надзора.



Декларация безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений, в том числе при их выводе из эксплуатации, а также после реконструкции, капитального ремонта, восстановления или консервации составляется их собственником или эксплуатирующей организацией, а проектируемых и строящихся гидротехнических сооружений – юридическим лицом или физическим лицом, выполняющим функции заказчика. Декларация безопасности представляется декларантом в федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий в пределах своих полномочий государственный надзор за безопасностью гидротехнических сооружений.

Декларация безопасности подписывается декларантом и представляется им в орган надзора не реже одного раза в 5 лет.

Для сооружений IV класса с напором на сооружениях менее 3 м и объемами водохранилища или накопителя менее (соответственно) 0,5 и 0,1 млн. куб. м декларация безопасности не разрабатывается.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для безаварийной эксплуатации сооружений хвостохранилищ необходимы соответствующие рекомендации, включающие весь комплекс вопросов, связанный с проектированием и строительством. Такие рекомендации должны наряду с обычными вопросами также включать физико-механические и прочностные характеристики в мерзлом, талом и переходном состояниях.

В данной работе проведен анализ фильтрационного режима и устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища, расположенного в Кемеровской области. По результатам анализа фильтрационного режима хвостохранилища предложены мероприятия в виде двух вариантов незамерзающих дренажных устройств, компенсирующих неустойчивость низового откоса в зоне высачивания фильтрационного потока и исключающих промерзание воды.

Рассмотрены основные сведения о хвостохранилищах, его природные условия, а также условия эксплуатации объекта. Произведен аналитический расчет глубины сезонного промерзания, в результате которого эта величина равняется 3,2 м. Также даны рекомендации по рациональной эксплуатации хвостохранилища. Была принята во внимание контрольно – измерительная аппаратура, а также рассмотрена нормативно – правовая база обеспечения безопасности гидротехнических сооружений, учет которой необходим для обеспечения безопасности.

Таким образом, безопасность эксплуатации гидротехнического сооружения в сложных условиях сезонного промерзания нельзя рассматривать без учёта температурного и фильтрационного режимов. Даже незначительное изменение температурного состояния массива основания ведёт к изменению фильтрационного режима, что может вызвать негативные последствия, в том числе неравномерные осадки сооружений, выпор грунта и другие деформации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фельдман Г.М. Методы расчета температурного режима мерзлых грунтов. – М.:Наука, 1973. – 254 с.
2. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика под ред. В.П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 550 с.
3. Фельдман Г.М. Методические указания по расчетам температурного расчета грунтов. – Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1985, – 70с.
4. Кузнецов Г.И. Проблемы безопасности специальных гидросооружений (хвостохранилища, золоотвалы, шламонакопители) в условиях Сибири /Г.И. Кузнецов // Изв.вузов.Строительство. – 2002. – 67 с.
5. Кузнецов Г.И. Накопители промышленных отходов: учебное пособие / Г. И. Кузнецов, Н. В. Балацкая, Д. А. Озерский. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 448 с.
6. Гончаров, Ю.М. Гидротехнические сооружения на мелиоративных системах: научное издание / Ю.М.Гончаров. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2010 – 491 с.
7. Кузнецов Г.И. Основы природоохранной гидротехники: учебное пособие/Г.И.Кузнецов, Н.В.Балацкая, Ю.М. Гончаров. – Красноярск: Сиб. Федер. Ун-т, 2011. – 316 с.
8. Битюрин А.К. Фильтрация воды в гидротехнических сооружениях: Методические указания / Битюрин А.К, Козлов А.П, Битюрин К.А. – Н. Новгород: Нижегородский гос-й архитектурно-строит-й ун-т, 2011. – 22 с.
9. Кузнецов Г.И. Противофильтрационные мероприятия на гидроотвалах промышленных отходов: учебно-методическое пособие / Г. И. Кузнецов, Н. В. Балацкая, Д. А. Озерский, М. А, Симакова. – Красноярск: СФУ, 2012. – 52 с.

10. Попов М.А. Природоохранные сооружения: учебное пособие / Попов М.А., Румянцев И.С. – Москва: изд. КолосС, 2013. – 520 с.

11. «О безопасности гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]: федер.закон от 21 июля 1997 г. №117 – ФЗ // Справочная правовая система «Консультант Плюс» – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15265/a64fb5f41b51847929c110729ddb866121510657/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265/a64fb5f41b51847929c110729ddb866121510657/)

12. «О федеральном государственном надзоре в области безопасности гидротехнических сооружений» (вместе с «положением о федеральном государственном надзоре в области безопасности гидротехнических сооружений»)» [Электронный ресурс]: от 27.10.2012 г. №1108 (ред.04.08.2017 ) // Справочная правовая система «Консультант Плюс» – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_137207/cabd775067abd7ee13da11da7e46e74ada1c8a32/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_137207/cabd775067abd7ee13da11da7e46e74ada1c8a32/)

13. Декларация безопасности гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]: промышленная экологическая безопасность труда. – Режим доступа: <http://prominf.ru/article/deklaraciya-bezopasnosti-gidrotehnicheskih-sooruzheniy>

14. Рекомендации по проектированию сооружений хвостохранилищ в суровых климатических условиях [Электронный ресурс]: Протос Экспертиза. – Режим доступа: <https://library.fsetan.ru/doc/rekomendatsii-po-proektirovaniyu-sooruzhenij-hvostohranilisch-v-surovyih-klimaticheskikh-usloviyah/>

15. Хвосты [Электронный ресурс]: горная энциклопедия. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/x/xvosty->

16. Хвостохранилище [Электронный ресурс]: Википедия свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хвостохранилище>

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Физико – механические характеристики грунтов, принятые в  
фильтрационных и статических расчетах

Таблица 1 – Физико – механические характеристики грунтов

Грунты	Плотность, т/м <sup>3</sup>		Коэффициент внутреннего трения		Коэффициент сцепления грунта		Коэффициент бокового давления		Коэффициент степени консолидации	Коэффициент фильтрации, м/сут.
	сухой	водонасыщенный	сухой	водонасыщенный	сухой	водонасыщенный	сухой	водонасыщенный		
Намывные хвосты	1,1	1,3	0,45	0,45	0	0	0,43	0,43	0,95	0,15
Насыпные грунты тела дамбы	1,91	2,0	0,58	0,58	0	0	0,43	0,43	0,98	0,79
Песчаники рассланцованные	1,57	1,57	0,84	0,84	0	0	0,43	0,43	0,98	0,17
Супесь бурая, пластичная	1,57	1,95	0,36	0,36	0,5	0,5	0,43	0,43	0,95	0,17
Песок разнозернистый	1,65	1,65	0,68	0,68	0,4	0,4	0,43	0,43	1	0,1
Суглинок серый	1,51	1,51	0,34	0,34	1	1	0,43	0,43	0,9	0,29
Гравийно-галечниковый	1,57	1,57	0,84	0,84	0	0	0,43	0,43	0,98	0,7



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

"Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности"

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

  
Т.А. Кулагина

подпись

« 25 » 06 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

20.03.01. «Техносферная безопасность»

Незамерзающая дренажная система на хвостохранилище в Кемеровской  
области

Пояснительная записка

Руководитель

  
подпись, дата

докт. техн. наук

Г.И Кузнецов

Выпускник

  
подпись, дата

М.Р Фазлиахметова


Консультанты по разделам

Консультант по  
нормативно-правовой базе

  
подпись, дата

С.В Комонов

Нормоконтроль

  
подпись, дата

С.В Комонов

Красноярск 2018