

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «ИЭиБЖД»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ИЭиБЖД
_____ Т.А. Кулагина
«_____» _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Обоснование безопасной эксплуатации накопителей промышленных отходов в
суровых климатических условиях

20.04.01 «Техносферная безопасность»

20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Научный руководитель _____ доцент, канд. техн. наук Н. В. Крук
подпись, дата

Выпускник _____ В. А. Сас
подпись, дата

Рецензент _____ доцент, канд. техн. наук И. В. Варфоломеев
подпись, дата

Красноярск 2019

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ
РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту Сас Валерии Александровне

Группа ФЭ17-07М

Направление (специальность) 20.04.01 «Техносферная безопасность»
программа 20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Тема выпускной квалификационной работы: «Обоснование безопасной эксплуатации накопителя промышленных отходов в суровых климатических условиях»

Утверждена приказом по университету № 15498/с от 25.10.2017
Руководитель ВКР Н.В. Крук канд. техн. наук, доцент ПИ СФУ кафедра «ИЭиБЖД»

Исходные данные для ВКР: нормативно-правовая база; справочная литература; учебная литература.

Перечень разделов ВКР:

1 Особенности эксплуатации объектов в суровых климатических условиях

2 Экспериментальное обоснование безопасной эксплуатации накопителя в суровых климатических условиях

3 Численное обоснование безопасной эксплуатации накопителя

4 Рекомендации по установке КИА и эксплуатации накопителя в суровых климатических условиях

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов:

Лист 1 – Расчет устойчивости для пионерной дамбы

Лист 2 – Расчет устойчивости при полном возведении накопителя

Лист 3 – Фильтрационный расчет

Лист 4 – Способ возведения многоярусного накопителя с незамерзающей дренажной системой

Лист 5 – Контрольно – измерительная аппаратура для многоярусного накопителя с незамерзающей дренажной системой

Научный руководитель _____ доцент, канд. техн. наук
подпись, дата

Н. В. Крук

Задание принял к исполнению _____
подпись, дата

В. А. Сас

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения этапов ВКР

Наименование и содержание этапа	Сроки выполнения
Литературный обзор ранее использованных или предложенных методов эксплуатации накопителей в СКУ.	30.10.2017 – 30.12.2017
Продолжение исследования литературы, патентов, книг и статей по теме ВКР.	31.12.2017 – 25.04.2018
Эксперимент по определению коэффициента фильтрации золы	26.09.2018 – 30.12.2018
Расчет устойчивости накопителя при сейсмической активности	31.12.2018 – 22.02.2019
Оформление пояснительной записки.	23.02.2019 – 20.06.2019
Графическое оформление чертежей, доклада.	20.06.2019 – 10.07.2019

Научный руководитель

подпись, дата

Н. В. Крук

Задание принял к исполнению

подпись, дата

В. А. Сас

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Обоснование безопасной эксплуатации накопителей промышленных отходов в суровых климатических условиях» содержит 105 страниц текстового документа, 43 использованных источника, включая 32 рисунка и 4 таблицы.

ЗОЛОШЛАКОВЫЙ МАТЕРИАЛ, НАКОПИТЕЛИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ, ЗОЛА, ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ЭКРАН, ДРЕНАЖ, КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ, ФИЛЬТРАЦИЯ, ГЛУБИНА СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ, ПОДМЫВ, СУРОВЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.

Объектом исследования является накопитель промышленных отходов в суровых климатических условиях.

Цели исследования:

– Изучение особенностей эксплуатации накопителей промышленных отходов в суровых климатических условиях, определение коэффициента фильтрации природного и техногенного грунта, численное моделирование фильтрации, а также определение коэффициента устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмики.

В итоге была предложена конструкция многоярусной дренажной системы. Это пространственная дренажная система, состоящая из продольных дренажных лент, уложенных вдоль вторичных дамб, поперечных дренажных лент и вертикальных дрен, соединяющих дренажные ленты друг с другом и основным дренажом. А также разработан ряд рекомендаций по установке КИА.

АННОТАЦИЯ
к выпускной квалификационной работе
на тему: Обоснование безопасной эксплуатации накопителей
промышленных отходов в суровых климатических условиях

ВКР выполнена на 105 страницах, включает 4 таблицы, 32 иллюстрации, 43 литературных источника.

Объектом исследования является накопитель промышленных отходов в суровых климатических условиях.

Целью исследования является изучение особенностей эксплуатации накопителей промышленных отходов в суровых климатических условиях, определение коэффициента фильтрации природного и техногенного грунта, численное моделирование фильтрации, а также определение коэффициента устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмики.

В магистерскую диссертацию входит введение, четыре главы и заключение о работе.

Во введении раскрывается актуальность выпускной квалификационной работы по выбранному направлению, цель, задачи и новизна.

В первой главе представлены общие сведения, а также литературный обзор в области эксплуатации накопителей промышленных отходов в суровых климатических условиях.

Во второй главе описаны экспериментальные исследования.

В третьей главе представлен расчет фильтрации и расчет устойчивости ограждающей дамбы.

В четвертой главе описаны рекомендации по установке КИА и эксплуатации накопителя в суровых климатических условиях.

В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе в форме магистерской диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 Особенности эксплуатации объектов в суровых климатических условиях ..	12
1.1 Виды накопителей промышленных отходов.....	13
1.2 Способы складирования промышленных отходов.....	16
1.3 Факторы, оказывающие существенное отрицательное влияние на устойчивость накопителей	17
1.4 Существующие решения проблемы.....	18
1.5 Безопасность накопителей в суровых климатических условиях	22
1.5.1 Аварии на ГТС.....	24
2 Экспериментальное обоснование безопасной эксплуатации накопителя в суровых климатических условиях.....	33
2.1 Метод Каменского	33
2.2 Определение коэффициента фильтрации техногенного и природного грунта.....	38
2.2.1 Методика проведения эксперимента.....	37
2.2.2 Результаты определения коэффициента фильтрации.....	43
3 Численное обоснование безопасной эксплуатации накопителя	48
3.1 Физико – географические условия объекта.....	48
3.2 Расчет устойчивости откоса ограждающей дамбы.....	54
3.3 Рекомендации по предотвращению разрушения откоса ограждающей дамбы в результате сейсмической активности	64
3.4 Аналитический расчет устойчивости	65
3.5 Расчет фильтрации.....	74
3.6 Предлагаемое техническое решение по возведению многоярусного накопителя.....	75
4 Рекомендации по установлению КИА и эксплуатации накопителя в суровых климатических условиях	78
Заключение	91
Список использованных источников	93
Приложение А Величина $f(S/h)$	98
Приложение Б Поправки (ТП) по Пуазейлю для различных температур.....	100
Приложение В Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 4 балла.....	101
Приложение Г Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 5 баллов.....	102
Приложение Д Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 6 баллов.....	103

Приложение Е Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 7 баллов.....	104
Приложение Ж Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы для 7 баллов с учетом выполаживания откосов.....	105

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Развитие экологически безопасных технологий складирования промышленных отходов в гидроотвалах – золошлаков ТЭС, хвостов рудообогащения и шламов в суровых климатических условиях требует решения следующих проблем [1]:

- гидроизоляция бортов, ложа и ограждающих дамб гидроотвалов;
- регулирование фильтрационного режима системы дамба – основание – намывной массив гидроотвала;
- теплоизоляция дренажных систем и обеспечение устойчивости дамб при промерзании их низовых откосов.

При нормальном режиме эксплуатации в случае промерзания внешнего откоса массива гидроотвала фильтрационный поток свободно разгружается в намерзающий дренаж.

Крайне неблагоприятный режим формирования гидроотвала формируется при зимнем промерзании внешнего откоса, при отказе дренажной системы или при неправильном ее проектировании. В таких случаях у подошвы откоса или на гребне ограждающей дамбы образуются нерегулируемые выходы фильтрационного потока и наледи, еще более осложняющие ситуацию.

Наледи в сочетании с промерзанием сооружения затрудняют выход фильтрационного потока; не имея возможности разгрузиться в дренаж, поток оказывает взвешивающее давление на поверхностный мерзлый слой. Как показывают натурные наблюдения, это может привести к выпору мерзлой корки и обрушению сооружения [19].

Практика эксплуатации гидроотвалов в суровых климатических условиях показывает, что отказы дренажных систем происходят вследствие замерзания воды во внешних дренажных линиях и в дренажных выпусках при уменьшении притока фильтрата или затрудненном оттоке его из дрены из-за засорения и деформаций водоприемных колодцев, длительных перерывов в работе откачивающих насосов, недостаточной эффективности теплоизоляции и по

другим причинам. В ряде случаев даже непрерывная откачка и беспрепятственный отвод фильтрата не служили гарантией нормальной работы дренажа в процессе промерзания низового откоса и подошвы дамбы [21].

По данным Росприроднадзора, в России к 2018 году накоплено более 8 млн. тонн токсичных промышленных отходов. К 2017 г. только от сжигания твердого топлива на ТЭС стран СНГ ежегодно образовывалось свыше 200 млн. тонн, а в отвалах было накоплено свыше 5,5 млн. тонн золошлаковых отходов. Уровень их использования составлял 13 - 15 %, что значительно ниже уровня, достигнутого в развитых странах. К настоящему времени этот показатель снизился по России до 6 %. В частности, только тепловыми электростанциями ОАО «Иркутскэнерго» производится в год до 3 млн. тонн золошлаков, а используется всего 230 тыс. тонн золы и 500 тыс. тонн шлака; остальной объем складывается в золошлакоотвалах [30].

Неудовлетворительное, а часто и предаварийное состояние накопителей наблюдается не только в суровых климатических условиях, но и за их пределами, где сезонное промерзание-протаивание грунтов также оказывает негативное воздействие на устойчивость и экологическую безопасность сооружений, особенно в сочетании с неконтролируемой фильтрацией загрязненных вод.

Например, за одни сутки при разрушении шламонакопителя Сясьского ЦБК в Ладожское озеро было вынесено 700 000 тонн токсичных отходов. Толщина потока техногенного селя достигала 3,5 м. В результате этой аварии и продолжавшегося до нее в течение десяти лет фильтрационного загрязнения возникла реальная опасность гибели обширной южной части. Эта региональная катастрофа является лишь эпизодом в цепи аварий хранилищ токсичных отходов, происходящих практически ежегодно [25].

В целом по России технический уровень проектирования и эксплуатации накопителей является более низким по сравнению с передовыми странами. Традиционно применяемые конструктивно-технологические решения накопителей по многим параметрам не соответствуют сложным климатическим

и мерзлотно-геологическим условиям Сибири и не удовлетворяют современным экологическим требованиям.

Цель работы. Целью настоящей работы является создание эффективных способов регулирования фильтрационного режима в системе дамба – основание – намывной массив гидроотвала, обоснование безопасной эксплуатации накопителя промышленных отходов в суровых климатических условиях.

Задачи:

- провести анализ научной литературы по проблеме фильтрации дамб и устойчивости накопителей в суровых климатических условиях;
- проанализировать существующие решения по проблеме исследования;
- исследовать особенности эксплуатации накопителей в суровых климатических условиях;
- обосновать безопасную эксплуатацию накопителя в суровых климатических условиях;
- определить коэффициент фильтрации природного грунта;
- определить коэффициент фильтрации техногенного грунта;
- выполнить расчет фильтрации;
- выполнить расчет устойчивости откоса ограждающей дамбы;
- разработать рекомендации по установлению КИА и эксплуатации накопителя в суровых климатических условиях.

Предметом настоящей работы является обоснование безопасных решений эксплуатации накопителей промышленных отходов в суровых климатических условиях (золоотвалов, хвостохранилищ, шламонакопителей). Необходимость исследований определяется значительным увеличением количества и продолжительности эксплуатации этих сооружений, неблагоприятным состоянием большинства из них и явно недостаточными теоретическими разработками по созданию нормативно-методической базы проектирования, отвечающей современным требованиям по охране окружающей среды и специфическим природным условиям региона (суровый климат, вечная и

сезонная мерзлота, криогенные процессы и определяющая роль температурного фактора).

Научная новизна. Научная новизна настоящей работы заключается в исследовании перспективного технического решения для накопителей в суровых климатических условиях – многоярусный накопитель с незамерзающей дренажной системой.

Практическая значимость:

1) Международная конференция молодых ученых «Перспектив Свободный 2018».

Секция: Техносферная безопасность и энергетика.

Тема: Обоснование техносферной безопасности гидроотвала в суровых климатических условиях.

2) Международная конференция молодых ученых «Перспектив Свободный 2019».

Секция: Техносферная безопасность и энергетика.

Тема: Обоснование устойчивости ограждающей дамбы накопителя в суровых климатических условиях.

1 Особенности эксплуатации объектов в суровых климатических условиях

Районы с суровыми климатическими условиями, относящиеся к северной строительно-климатической зоне, характеризуются зимами с устойчивыми низкими отрицательными температурами воздуха и большой толщиной снежного покрова, наличием вечномерзлых грунтов и мерзлотных процессов. Поэтому наряду с соблюдением общих требований к содержанию искусственных сооружений следует учитывать нижеперечисленные особенности:

- отрицательную среднегодовую температуру воздуха, большую суточную и годовую амплитуду температур воздуха (абсолютная максимальная 41 °С, абсолютная минимальная минус 70 °С), продолжительный зимний период (до 305 суток);

- наличие вечномерзлых грунтов в виде сплошной, слоистой, прерывистой или островной мерзлоты;

- существенное изменение физико-механических характеристик льдистых грунтов при их оттаивании, вплоть до полной потери ими несущей способности и водоупорности;

- развитие мерзлотных процессов и явлений (бугров пучения, наледей, термокарста, солифлюкции, морозобойных трещин) в основании, береговых примыканиях и в теле грунтовых гидротехнических сооружений;

- тяжелые ледовые условия и возможность значительных ледовых нагрузок и воздействий (толщина льда свыше 1,5 м);

- значительные отложения снега, в том числе в пазухах недостроенных сооружений;

- высокую неравномерность стока с частым наличием пиков расходов не только весной, но и в летне-осенний период; бурные весенние паводки с сильными ледоходами; большую амплитуду расчетных уровней воды и, как

правило, низкие зимние меженные уровни; полное перемерзание средних и малых водотоков [25].

При проектировании гидротехнических сооружений должны быть изучены следующие мерзлотные процессы и явления:

- морозное пучение грунтов;
- криогенное выветривание скальных пород с последующей криогенной дифференциацией крупнообломочных образований, формирующих курумы;
- наледеобразование в местах разгрузки подземных вод;
- термокарст;
- термоэрозия и термоабразия;
- солифлюкция;
- криогенное трещинообразование с последующим формированием по трещинам систем полигонально – жильных льдов [25].

1.1 Виды накопителей промышленных отходов

Существуют различные виды накопителей (хранилищ) отходов (гидроотвалы, хвостохранилища, шламоохранилища и др.), которые технологически связаны с процессом добычи и переработки полезных ископаемых, а также с накоплением, безопасным хранением и утилизацией промышленных отходов горных, металлургических, химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих и других предприятий. Тип накопителя определяют в зависимости от категории отходов [41].

Гидроотвал – это сооружение, предназначенное для размещения грунтов и различных материалов, поступающих в виде пульпы. Пульпа – это дисперсная система тонкоизмельченного полезного ископаемого (мельче 1–0,5 мм) с водой; по крупностям частиц различают грубые суспензии, тонкие суспензии, шлам (ил), коллоидные растворы.

В зависимости от рельефа основания различают гидроотвалы:

- овражные и балочные, создаваемые путем возведения насыпной или намывной дамбы (плотины), перегораживающей овраг или балку;

- равнинные, расположенные на ровной местности или с небольшим уклоном, в пойме реки, обвалование которых производят с четырех из трех сторон;

- косогорные; котлованные и котловинные, расположенные соответственно в выработанных пространствах карьеров и в естественных понижениях [41].

В зависимости от состава складированной породы и способов обволакивания гидроотвалы подразделяют на три типа.

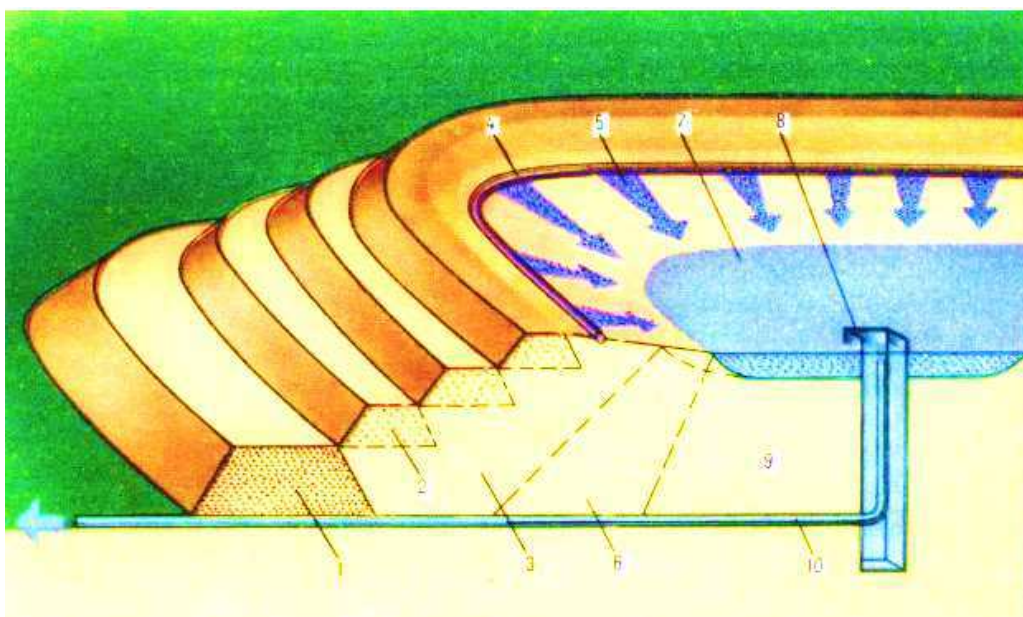
В гидроотвалах первого типа подаются пылевато-глинистые породы, а дамба обвалования возводится из привозного грунта на всю высоту. В гидроотвалах второго типа намывают песчаные или песчано-глинистые породы, при этом дамбы обвалования сооружают из намывного грунта.

Гидроотвалы третьего типа отличает складирование пород, содержащих песчаные и пылевато-глинистые частицы; дамбы обвалования поярусно отсыпают из привозного грунта.

Гидроотвалы подразделяют также по классам капитальности. При этом учитывают условия их расположения по рельефу местности, характеристику укладываемых пород и пород основания, наличие водохранилища и его вместимость, интенсивность намыва, конечную высоту отвальных уступов, положение гидроотвалов относительно жилых, промышленных объектов и источников водоснабжения. С учетом этих фактов гидроотвалы также различают по классам ответственности [41].

Хвостохранилище – это накопитель жидких промышленных стоков в виде участка местности, отгороженного плотиной или дамбой. Оно предназначено для складирования хвостов (отходов обогащения полезных ископаемых, состоящих из пустой породы с включением полезных компонентов, которые не могут быть извлечены при применении технологии обогащения) и осветления воды.

Шламохранилище – это крупное земляное сооружение объемом до десятков миллионов кубических метров, глубиной до 50 м, площадью от 10 до 20 га, создаваемое в системе водоснабжения и водоотведения химических, нефтехимических и других предприятий, для размещения шламовой пульпы. Шламохранилища располагают в пологих оврагах и балках и других участках местности. Шламовую пульпу подают по таким же схемам, что и хвостовую пульпу в хвостохранилища.



1 – первичная дамба обвалования (дамба начального обвалования); 2 – дамбы последующего обвалования, возводимые поярусно; 3 – упорная призма, состоящая из наиболее крупнозернистых фракций намываемого грунта; 4 – намывной пульповод на эстакаде; 5 – пляж (поверхность между дамбой обвалования и прудком); 6 – промежуточная зона; 7 – прудок (прудок-отстойник), обеспечивающий водоосветление и водоснабжение; 8 – водосборный (водозаборный) колодец; 9 – ядро (центральная зона); 10 – водосбросная труба

Рисунок 1 – Схема основных элементов гидроотвала

Для шламохранилища обязательно предусматривают обваловку, плотину, по гребню которой прокладывают дорогу и пульповоды. Гребень плотины должен иметь защитное покрытие и систему кюветов для организованного сбора и отвода поверхностных вод.

Золоотвал – место складирования, хранилище золы тепловых электростанций, работающих на твердом топливе. Золоотвалы очень часто служат источниками загрязнения воздуха, подземных и поверхностных водоисточников. На территории Центральной Сибири золоотвалы являются наиболее распространенными накопителями.

По условиям складирования золоотвалы являются намывными сооружениями, возводимыми и эксплуатируемыми так же, как и хвостохранилища.

Золошлаковые материалы подают в золоотвал в виде пульпы, но в последнее время применяют и сухое складирование.

Указанные конструктивные типы применяются во всех климатических зонах России [41].

1.2 Способы складирования промышленных отходов

В зависимости от состояния образующихся твердых отходов различают гидравлический и сухой способы складирования.

Гидравлический способ применяют для отходов, образующихся при мокром способе обогащения; пыли, золы ТЭС, улавливаемых мокрым способом; шламов и других промышленных отходов, находящихся в насыщенном водой состоянии. Этот способ заключается в транспортировании пульпы по трубопроводам (пульповодам) с помощью насосов и выпуске ее в хранилище.

Пульпой называется смесь твердых частиц и воды. Основной характеристикой ее является консистенция - соотношение массы твердых частиц и жидкости.

Сухой способ складирования отходов зависит от вида используемого транспорта. Для промышленных предприятий наибольшее распространение получил автомобильный транспорт. В горнодобывающей промышленности при большом расстоянии транспортировки используют также железнодорожный

транспорт. Отвалообразование отходов угледобычи производят также с помощью опрокидывающихся вагонеток (скипов) с канатной откаткой их по наклонным рельсовым путям, а также с помощью канатных подвесных дорог, конвейерного транспорта.

1.3 Факторы, оказывающие существенное отрицательное влияние на устойчивость накопителей

Устойчивость сооружений является основной проблемой при эксплуатации накопителей и влияет на их конструкционные особенности. В связи с этим различают факторы влияния на устойчивость накопителя:

- неуправляемая фильтрация через дамбу, по контакту с водосбросными сооружениями и по водопроницаемым зонам оттаивающих оснований;
- неэффективная работа противофильтрационных и дренажных устройств или же отсутствие таких устройств;
- неучтенная в конструкциях дамб деформируемость оттаивающих оснований;
- ежегодное развитие наледей у подошвы и на низовом откосе дамбы как прямое и неблагоприятное следствие фильтрации;
- скопления илистых, водонасыщенных, структурно неустойчивых шламов, образующих ослабленные прослойки;
- замыв ледяных тел и последующее их оттаивание;
- неопределенность расчетного теплового режима дамб и недостаточная реализация температурных прогнозов в проектах;
- отсутствие контрольно-измерительной аппаратуры, приспособленной к работе в сложных условиях;
- отступления от проектов при наращивании дамб, приводящие к недопустимо крутому заложению откосов, возводимых без необходимого выравнивания и уплотнения [1].

1.4 Существующие решения проблемы

В южной части криолитозоны, характеризующейся островным распространением высокотемпературной вечной мерзлоты и глубоким сезонным промерзанием, также расположены многочисленные золоотвалы, хвосто- и шламохранилища, испытывающие негативное воздействие температурных факторов. Как правило, наиболее серьезные деформации и аварийные ситуации на этих объектах были обусловлены неконтролируемым развитием теплофизических, фильтрационных и криогенных процессов (например, хвостохранилище Сорского молибденового комбината, золоотвалы Абаканской и Кызыльской ТЭЦ, Иркутской ТЭЦ-11, Красноярской ТЭЦ-1, золоотвал Благовещенской ТЭЦ и др.) [23]

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации накопителей в сложных мерзлотно-климатических условиях изучен и обобщен пока еще недостаточно. Регулярный контроль фактического состояния накопителей не проводится. Поэтому до настоящего времени отсутствует достаточно обоснованная методика их проектирования, основанная на комплексном подходе к контролю, прогнозу и регулированию теплового состояния накопителей, оказывающего определяющее влияние на развитие криогенных и гидрогеомеханических процессов, и, как следствие, на устойчивость и экологическую безопасность сооружений [25].

В период 1980 - 1991 г.г. значительный объем исследований выполнен в рамках отраслевых программ НИОПКР Минэнерго СССР:

- разработка рациональных методов круглогодичного возведения грунтовых гидросооружений в северной строительной-климатической зоне;
- разработать и проверить в опытных условиях методы организации работ и технологию круглогодичного строительства грунтовых сооружений гидротехнического комплекса в условиях многолетней мерзлоты. Разработка предложений по управлению терморежимом плотин и гидроотвалов на сложных таломерзлых основаниях;

- разработать и проверить в опытных условиях методы организации работ и технологию круглогодичного строительства грунтовых сооружений гидротехнического комплекса в условиях многолетней мерзлоты. Выявить эффективные методы регулирования терморежима и улучшения механических свойств грунтов при строительстве грунтовых сооружений и инженерной подготовке оснований в северной зоне;

- разработка способов инженерной подготовки сложных таломерзлых оснований, новых конструктивных решений специальных грунтовых сооружений и способов возведения плотин из некондиционных грунтов для условий Крайнего Севера;

- разработать и внедрить при проектировании и строительстве для районов со сложными природными условиями (в том числе Крайнего Севера, распространения многолетней мерзлоты, высокой сейсмичности) новые технические решения гидросооружений с широким использованием местных материалов и негрунтовых противодиффузионных устройств, а также технологию их круглогодичного строительства [5].

Известны два способа возведения накопителей мерзлого типа. Первый способ возведения не требует сложной инженерной подготовки основания, исключает пыление и диффузионное загрязнение территории, обеспечивает надежную консервацию дисперсных отходов, позволяет контролировать и регулировать температурно-диффузионные факторы и устойчивость ограждающих и экранирующих конструкций, основано на эффективном использовании естественного холода и гарантирует полную экологическую безопасность сооружения. Основным его элементом является однорядная мерзлотная завеса, которая обеспечивает температурную устойчивость и водоупорность сооружения на участках наиболее мощного теплового влияния внутренней емкости и высокотемпературных массивов отходов, отсыпаемых в теплый период года. Во втором способе возведения предлагается строительство экологически безопасного накопителя, включающее возведение из грунта первичной дамбы, поярусную отсыпку отходов в секции и их промораживание

естественным путем в холодное время года и отвод в водосборную емкость стоков, образовавшихся из атмосферных осадков и загрязненных в теплое время года. Эту емкость создают в пределах площади секции и с отметкой дна, повышающейся в процессе отсыпки отходов в ярус. Его наружной поверхности придают уклон в сторону емкости. В теплое время года в секции осуществляют пылеподавление водой, взятой из емкости, с интенсивностью, обеспечивающей, по меньшей мере, полуопороженное состояние емкости к началу холодного периода года. При оптимальной схеме возведения по одному из методов обеспечивается мёрзлое состояние основания и полное промерзание массива отходов без устройства мерзлотной завесы по периметру накопителя [31].

Известен способ возведения дамбы в суровых климатических условиях с использованием внутреннего экрана. Такое конструктивно - технологическое решение дает возможность использовать глиняные грунты в любом исходном состоянии мерзлом или переувлажненных, не подвергая их предварительной технической мелиорации.

Способ заключается в следующем: на основание отсыпают первичные упорные призмы – верховую и низовую, на внутренние откосы которых отсыпают переходные слои и укладывают на них наклонные части экрана из глинистого грунта. Затем отсыпают горизонтальную часть экрана, выполнив сопряжение с не фильтрующим основанием. Внутренний экран служит для предотвращения фильтрации дамбы. Расчетами доказано, что данный способ возведения дамбы снижает риск аварии на 70% [29].

Известен гидроотвал отходов промышленных предприятий, в котором незамерзаемость дренажной системы достигается при таком ее расположении в толще намывного массива отходов, когда его промерзание со стороны низового откоса ограждающей дамбы не влияет на работоспособность дренажа. Но в данном техническом решении не решена задача предохранения от замерзания дренажных выпусков, пересекающих слой сезонного промерзания на низовом (внешнем) откосе ограждающей дамбы. Опасность такого промерзания постоянно сохраняется в периоды наиболее низких температур наружного

воздуха и промерзающего слоя и, соответственно, при снижении теплоотдачи от фильтрационного потока [2].

Известен также гидроотвал, в котором использована утепленная дренажная пригрузка с незамерзающим дренажным выпуском [32]. В этой конструкции предусмотрено применение греющего электрокабеля.

Недостатком известного технического решения является то, что в нем не используется тепло, содержащееся в гидросмеси (пульпе), подаваемой на гидроотвал по трубам гидротранспортной системы, существенно усложняется конструкция утепленного дренажа, возрастает стоимость его строительства и эксплуатации за счет затрат на прокладку кабеля и устройство других элементов системы электрообогрева и относительно высоких энергозатрат. Отрицательным фактором является также недостаточная надежность системы при повреждениях и отключениях электроснабжения.

Известен гидроотвал, включающий ограждающую дамбу, утепляющую дренажную пригрузку на низовом откосе дамбы и расположенные под пригрузкой дренаж и дренажный выпуск. Непосредственно над дренажом и дренажным выпуском размещен пульпопровод гидротранспортной системы для подачи на гидроотвал гидросмеси. Гидросмесь имеет положительную температуру промышленных отходов - пульпы. Обеспечивается повышение работоспособности и возможность функционирования гидроотвала при отрицательных температурах [31].

Изобретение относится к гидротехническому строительству и может быть использовано при складировании отходов промышленных предприятий, например, золошлаков тепловых электростанций, хвостов рудообогащения, шламов металлургических и иных производств в гидроотвалах - золошлакоотвалах, хвостохранилищах и шламонакопителях.

При устройстве гидроотвалов в суровых климатических условиях существенно важным является защита от промерзания дренажей, находящихся в ограждающей дамбе и массиве складированных отходов. Происходящее при этом нарушение нормального фильтрационного режима приводит к

уменьшению устойчивости дамбы и гидроотвала в целом, их деформациям и разрушению. Известны многочисленные примеры таких негативных процессов, приводящих к аварийным ситуациям (хвостохранилище № 1 Норильского ГМК, золоотвал № 1 Абаканской ТЭЦ и другие) [21].

1.5 Безопасность накопителей в суровых климатических условиях

Гидротехнические сооружения и конструкции в процессе строительства и эксплуатации испытывают разные по природе, характеру и продолжительности действия нагрузки и воздействия. При проектировании гидротехнических сооружений и конструкций, помимо нагрузок и воздействий, учитываемых при проектировании промышленных сооружений, необходимо учитывать множество дополнительных нагрузок и воздействий, обусловленных взаимодействием гидротехнических сооружений с водной средой. По характеру изменения во времени нагрузки и воздействия делятся на постоянные и временные [3, 27].

К постоянным нагрузкам, действующим при строительстве и эксплуатации сооружений постоянно, относятся:

- собственный вес конструкций и сооружений, а также все постоянного технологического оборудования, местоположение, которого не меняется в процессе эксплуатации;
- давление воды на поверхность сооружений и силовое воздействие фильтрующейся воды при нормальном подпорном уровне воды и нормальной работе противодиффузионных и дренажных устройств;
- вес грунта и боковое давление, горное давление;
- нагрузки от предварительного напряжения конструкции, пригрузка основания в верхнем и нижнем бьефах.

Временными считают нагрузки и воздействия, которые в отдельные периоды эксплуатации могут отсутствовать. По длительности воздействия они

условно разделяются на временные, длительные, кратковременные и особые.
[3, 27]

К временным длительным нагрузкам относятся:

- давление грунта, возникающее при деформации оснований и конструкций под действием нагрузок и температурных воздействий;
- давление наносов, а также от намытого золошлакового, шламового и т.п. материала;
- поровое давление в водонасыщенных грунтах при нормальном подпорном уровне воды и нормальной работе противofильтрационных и дренажных устройств;
- температурные воздействия в периоды строительства и эксплуатации, определяемые для расчетного года со средней амплитудой колебаний среднемесячных температур наружного воздуха;
- нагрузки от транспортных средств и грузов, а также другие нагрузки, связанные с эксплуатацией сооружений.

К кратковременным нагрузкам относятся:

- нагрузки от транспортных средств и грузов, а также другие нагрузки, связанные с эксплуатацией сооружений.
- нагрузки и воздействия от ледяного покрова максимальной толщины с частой повторяемостью;
- давление льда при его средней многолетней толщине;
- снеговые и ветровые нагрузки;
- силовое воздействие фильтрующейся воды и поровое давление в водонасыщенных грунтах при форсированном подпорном уровне воды или при нормальном уровне воды, но при нарушении нормальной работы противofильтрационных дренажных устройств;
- температурные воздействия в периоды строительства и эксплуатации, определяемые для года с наибольшей амплитудой колебания среднемесячных температур наружного воздуха;

- ледовые нагрузки при максимальной многолетней толщине льда и прорыве заторов зимой в нижнем бьефе;
- сейсмические воздействия;

1.5.1 Аварии на ГТС

Глубина сезонного промерзания

При промерзании грунтов образуется зона промерзания (слой, в котором происходят значительные фазовые превращения незамёрзшей воды), разделяющая полностью промёрзший и талые грунты. Верхняя часть промёрзшего слоя представляет собой твердомёрзлый грунт, в котором замёрзла вся свободная вода и значительная часть рыхлосвязанной; нижняя часть (слой льдовыделения) — пластично-мёрзлый грунт, в котором замёрзла только свободная вода. Нижняя граница зоны промерзания (фронт промерзания) соответствует появлению кристаллов льда и определяется температурой замерзания грунта (около 0°C), верхняя граница — температурой около -1°C для суглинков и $-1,5^{\circ}\text{C}$ для глин.

Промерзание сопровождается рядом физических процессов: изменением теплового состояния, миграцией влаги, образованием ледяных включений и пучением, возникновением напряжений в мёрзлом массиве и его растрескиванием. Промерзание обычно вызвано теплопотерями из грунта в атмосферу в результате установления отрицательных температур воздуха. Снежный покров, характеризующийся плохой теплопроводностью, существенно снижает теплопотери и промерзание.

Промерзание начинается с переходом температуры воздуха от положительного значения к отрицательному, до установления постоянного снежного покрова, защищающего грунт от охлаждения. В первые 1-2 месяца скорость сезонного промерзания близка к постоянной, затем она резко снижается. К весне глубина промерзания достигает максимума. Оттаивание мёрзлого грунта начинается после схода снега и осуществляется сверху

(основная часть) в результате аккумуляции солнечного тепла и снизу — за счёт притока тепла из глубьлежащих слоёв грунта. Глубина, на которую промерзает грунт за весь зимний сезон, называется глубиной сезонного промерзания. Максимально возможные значения глубины сезонного промерзания для территории России характеризуются следующими значениями: крупно скелетные грунты — 6 м; песчаные, супесчаные и суглинистые — 4-3 м; торфянистые — 1,5 м. В инженерной практике определяют нормативную глубину промерзания, за которую принимают среднее из многолетних наблюдений значений глубины сезонного промерзания на открытой площадке, лишённой снежного и растительного покрова с глубоким залеганием уровня грунтовых вод. В малоснежные зимы, при спуске водоёмов, сезонное промерзания может быть настолько значительным, что промёрзший слой не успевает за лето полностью оттаять (образуются перелетки). Если потери тепла из грунта в атмосферу за холодный сезон из года в год превышают теплоаккумуляцию, начинается многолетнее промерзания земной коры и образуется криолитозона [27].

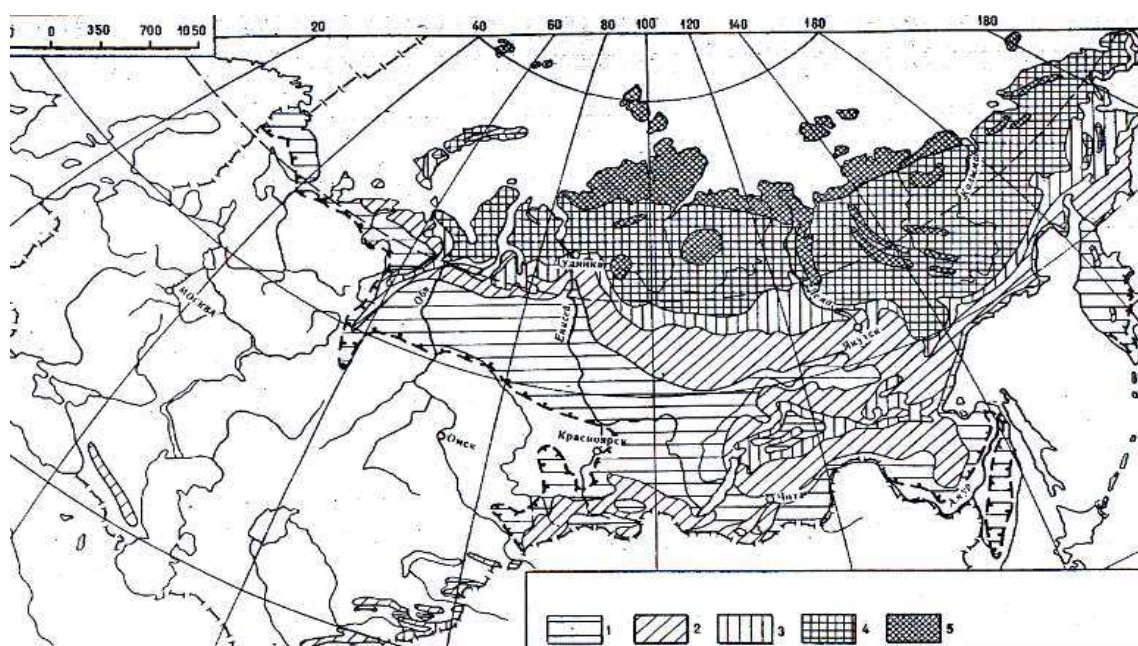
На территории криолитозоны сезонное промерзание встречается локально (на участках с таликами). Глубины возможного промерзания в таких условиях достигают для крупно скелетных грунтов 10 м, для торфов 3,5 м. Промерзание сезонно-талого слоя (зимнее промерзание) происходит как сверху (в результате теплообмена грунта с холодным воздухом), так и снизу (вследствие теплоотдачи в мёрзлую подстилающую толщу). Продолжительность промерзания сезонно-талого слоя уменьшается к северу. В Якутске вариации продолжительности промерзания составляют 1-4 мес. У южной границы криолитозоны зимнее промерзание повсеместно переходит в сезонное.

Глубину промерзания в природных условиях определяют с помощью непосредственных наблюдений (проходка шурфов, бурение скважин, применение мерзлотометров) и косвенных методов. Из косвенных методов распространены температурный и криотекстурный. В первом из них о глубине промерзания судят по температуре 0°C . Однако при изотермии эта температура

может наблюдаться в значительном интервале глубин, что затрудняет определение границы кристаллизации. При использовании криотекстурного метода границу раздела между мёрзлым и талым грунтом определяют по наличию в мёрзлом грунте включений льда, по степени цементации (прочности) грунта, по изменению его цвета.

В России от 47 до 50 % всей площади занимают районы, характеризующиеся распространением вечномёрзлых грунтов [7,9] (рис. 2).

Мёрзлые грунты в зависимости от продолжительности их существования подразделяют на *вечномёрзлые*, время существования которых составляет века и тысячелетия, *многолетнемёрзлые* – от нескольких лет до нескольких десятилетий, *сезонномёрзлые* – от одного до двух сезонов.



1 – зона редкоостровного, островного и массивно-островного распространения со среднегодовыми температурами от +3 до –1 °С и мощностью от 0 до 100 м; 2–5 – зоны сплошного распространения с температурами: 2 – от –1 до –3 °С и мощностью от 50 до 300 м; 3 – от –3 до –5 °С и мощностью от 100 до 400 м; 4 – от –5 до –9 °С и мощностью от 200 до 600 м; 5 – ниже –9 °С и мощностью от 400 до 900 м и более

Рисунок 2 – Схематическая карта распространения многолетнемёрзлых грунтов

Вечномерзлые грунты по своему составу включают в себя сложные компоненты. Согласно теории механики мерзлых грунтов [10], мерзлыми называют грунты и другие горные породы, почвы и дисперсионные материалы, имеющие отрицательную или нулевую температуру, в которых хотя бы часть воды замерзла и превратилась в лед, цементируя минеральные частицы.

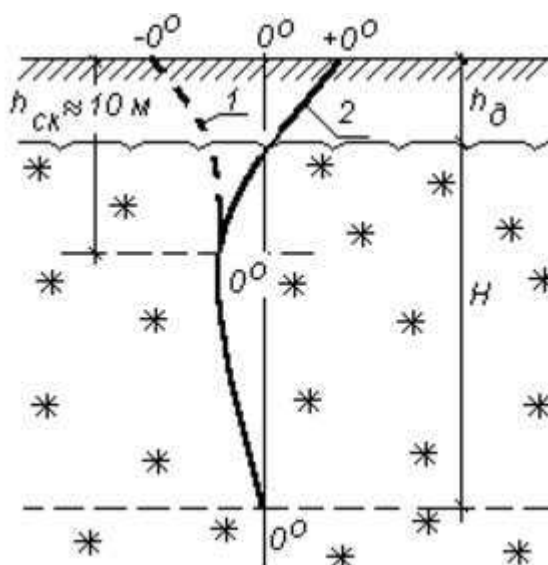
Вечномерзлое состояние грунтов рассматривают как геологическое явление. Например, толщи вечномерзлых грунтов северо-востока Сибири имеют возраст от 10–12 тыс. до 280 тыс. лет.

Вечномерзлые грунты характеризуются своими разнообразными формами. По расположению районы с вечномерзлыми грунтами подразделяют: со сплошной вечной мерзлотой, в пределах которой вечная мерзлота наблюдается повсеместно; с островной вечной мерзлотой, к которым относятся изолированные участки с вечной мерзлотой; пространство вечной мерзлоты, пронизанное таликами значительных размеров; районы с вечной мерзлотой в буграх торфяных болот. Среди вечномерзлых грунтов встречаются острова талых грунтов – талики. Чаще всего они располагаются в зоне южной границы распространения вечномерзлых грунтов, где последние имеют близкую к 0 °С температуру, а также под водоемами (озерами и реками), в местах выходов подземных вод и на морских берегах, где грунты и грунтовые воды засолены, и температура их замерзания понижена. Образование таликов иногда связано с деятельностью человека.

Мощность толщи вечномерзлых грунтов различна и зависит от широтной и высотной зональности.

Одной из основных характеристик вечномерзлых грунтов является температура на глубине, приблизительно соответствующей нулевым температурным амплитудам (с точностью 0,10 °С) (рис. 3).

По глубине вечномерзлые грунты имеют разнообразный характер залегания: непрерывны или переслаиваются талыми.



1 – распределение по глубине температуры грунта в зимний период; 2 – то же в летний период; $h_{д}$ – мощность деятельного слоя; $h_{ск}$ – глубина затухания сезонных колебаний температуры воздуха; H – мощность толщи вечномёрзлых грунтов

Рисунок 3 – Схематический температурный разрез толщи вечномёрзлых грунтов

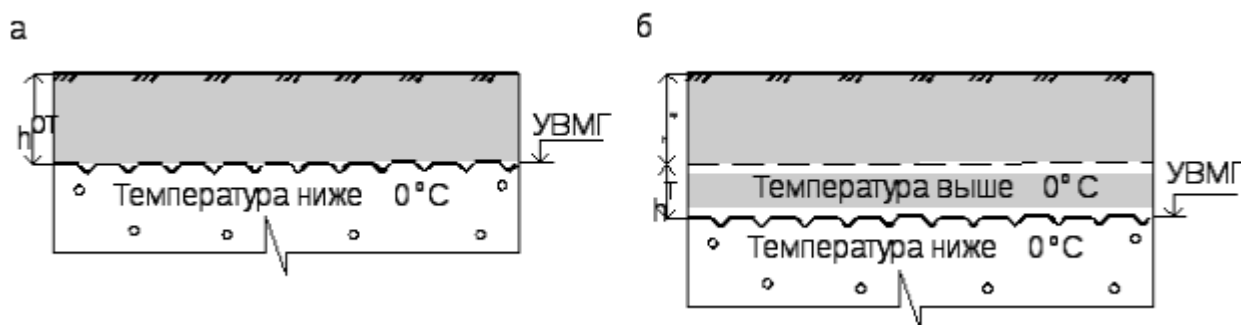
Слоистое распространение вечномёрзлых грунтов встречается в районах, где температура на глубине нулевых амплитуд ее колебаний близка к 0°C или где грунтовые воды связаны с поверхностными. Верхняя граница вечномёрзлых грунтов определяется границей максимального сезонного оттаивания (промерзания) грунтов.

При полном замерзании в течение холодного сезона деятельного слоя мерзлота является сливающейся. Если между сезоннопромерзшим слоем и верхней поверхностью вечномёрзлого грунта сохраняется талый прослой, то мерзлота – не сливающаяся представлена на рисунке 4.

В зависимости от содержания льда различают следующие вечномёрзлые и мерзлые грунты: сильнольдистые (объемная льдистость более 50 %); льдистые (то же от 50 до 25 %); слабольдистые (то же менее 25 %) [27].

Сильнольдистые глины, суглинки и супеси при оттаивании переходят в текучее, текучепластичное и пластичное состояния и обладают низкой несущей способностью.

Слабльдистые грунты при том же составе при оттаивании, приобретая тугопластичную или полутвердую консистенцию, являются малосжимаемыми, характеризуются более высокой несущей способностью.



a – сливающаяся; *b* – несливающаяся; $h_{от}$ – глубина сезонного оттаивания грунта; $h_{пр}$ – глубина сезонного промерзания грунта; h_m – толщина слоя талого грунта; УВМГ – уровень вечномерзлого грунта

Рисунок 4 – Виды мерзлоты

Льдистые грунты по своим свойствам занимают промежуточное положение.

По физическому состоянию вечномерзлые и мерзлые грунты подразделяют на твердомерзлые (низкотемпературные), прочно спаянные со льдом, практически несжимаемые, и пластичномерзлые (высокотемпературные) с большим содержанием незамерзшей воды, относительно мало сжимаемые в мерзлом состоянии [27].

Твердомерзлые грунты – прочно сцементированны льдом, характеризуются относительно хрупким разрушением и практически несжимаемые под нагрузками, коэффициент их сжимаемости не превышает $0,05 \text{ см}^2/\text{кг}$ [4]. К твердомерзлым относят песчаные и глинистые грунты при

температуре, °С, ниже: 0 – для крупнообломочных; 0,3 – для песков крупных и средней крупности; –0,3 – для песков пылеватых; –0,6 – для супесей; –1,0 – для суглинков; –1,5 – для глины.

Пластичномерзлые грунты – сцементированны льдом, но обладают вязкими свойствами (из-за содержания в них значительного количества незамерзшей воды), характеризуются способностью сжиматься под нагрузками от сооружения, коэффициент сжимаемости более 0,05 см²/кг. К пластично мёрзлым относят песчаные и глинистые грунты со степенью заполнения пор льдом и незамерзшей водой 0,8, если их температура находится в пределах от 0 °С до значений для твердомерзлых грунтов.

Сыпучемерзлые грунты – не сцементированы льдом (из-за малой влажности), песчаные и крупнообломочные (0,05) обладают такими же свойствами сжимаемости, как и не мёрзлые грунты аналогичных составов.

Глубина летнего оттаивания для области вечномерзлых грунтов является величиной, характеризующей зону сезонных изменений температуры грунтов, т. е. зону периодического оттаивания. В инженерной практике слой ежегодного зимнего промерзания и летнего оттаивания называют деятельным слоем грунтовой толщи.

Нижнее положение вечномерзлых грунтов определяется широтой местности: в направлении с юга на север граница мерзлоты постепенно понижается, достигая в северной части материка глубины 500–600 м. Локальные изменения ее мощности зависят от крупных элементов рельефа.

Температура вечномерзлых грунтов является одним из главных факторов, определяющим пригодность мерзлых грунтов в качестве оснований искусственных сооружений. В зависимости от глубины вечномерзлой толщи грунта по температурному фактору различают две зоны: зону аккумуляции, которая характеризуется сезонными колебаниями температур, мощностью обычно 15–20 м; зону нулевых годовых амплитуд с постоянной, не меняющейся в течение года температурой.

В южных районах северной строительно-климатической зоны, например в Ургале, мощность вечномерзлого грунта составляет 30–70 м, а температура на уровне нулевых амплитуд $= 0,5 \div 1,5^{\circ}\text{C}$; в зоне Тынды – 100–150 м, $a = 3 \div 5^{\circ}\text{C}$; в Якутске – 300–700 м, $a = 7 \div 12^{\circ}\text{C}$.

Температура на поверхности грунта отличается от температуры наружного воздуха. Летом солнечная радиация повышает температуру поверхности, а зимой снежный покров защищает ее от охлаждения. Кроме того, оказывают влияние затраты тепла на испарение, затенение поверхности и другие факторы.

В зоне аккумуляции температура грунта непрерывно изменяется. Период и амплитуда ее зависят от географического расположения искусственных сооружений, метеорологических факторов, снегоотложений, времени года, глубины от поверхности грунта и других условий тепло- и массообмена. По глубине решающее влияние на температуру оказывают длительно действующие факторы, особенно в холодный период года.

Температура толщи вечномерзлого грунта характеризует устойчивость мерзлоты – прочность мерзлых пород и способность их восстанавливать мерзлое состояние после протаивания в результате строительства и эксплуатации искусственных сооружений. Величина температуры в зоне годовых нулевых амплитуд колеблется от 0 до -16°C [4]. Близкую к нулю температуру грунта имеют вечномерзлые породы у южной границы распространения мерзлоты. Особенностью динамики температур мерзлых грунтов является запаздывание максимальных и минимальных значений с глубиной, что необходимо учитывать при использовании материалов инженерных изысканий.

Характерной особенностью вечномерзлых и мерзлых грунтов является их способность к изменчивости прочностных и деформативных (реологических) свойств под воздействием внешних нагрузок. К реологическим свойствам вечномерзлых грунтов относят явления ползучести и релаксации.

При проектировании искусственных сооружений учитывают следующие основные характеристики вечномерзлых грунтов: криогенную структуру; степень заполнения объема пор льдом и незамерзающей водой; суммарные влажность и льдистость; теплофизические показатели (температуру начала замерзания, температуру на уровне нулевых амплитуд, коэффициенты теплопроводности, объемную теплоемкость и др.). При проектировании искусственных сооружений характеристики и показатели вечномерзлых грунтов оснований учитывают при выборе типа и конструкции опор мостов и их фундаментов, глубины заложения, обеспечения термического режима с применением специальных устройств в зависимости от принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований [27].

Вывод. Устойчивость сооружений является основной проблемой при эксплуатации накопителей и влияет на их конструкционные особенности. В связи с этим различают факторы влияния на устойчивость накопителя:

- неуправляемая фильтрация через дамбу;
- неэффективная работа противофильтрационных и дренажных устройств;
- неучтенная в конструкциях дамб деформируемость оттаивающих оснований;
- ежегодное развитие наледей у подошвы и на низовом откосе дамбы как прямое и неблагоприятное следствие фильтрации;
- отсутствие контрольно-измерительной аппаратуры, приспособленной к работе в сложных условиях.

2 Экспериментальное обоснование безопасной эксплуатации накопителя в суровых климатических условиях

2.1 Метод Каменского

Чрезвычайно простым методом определения коэффициента фильтрации песков является метод, разработанный Г. Н. Каменским, при котором коэффициент фильтрации определяют в приборе, получившем название трубки Г. Н. Каменского. Трубка Г. Н. Каменского - стеклянная, имеет длину 23-25 см и диаметр 2-4 см представлена на рисунке 5а. На трубке сверху вниз нанесены деления через 1 см от 0 до 20. Деление 20 должно точно совпадать с нижним краем трубки, который обвязывают марлей или сеткой. Трубку укрепляют на штативе или устанавливают на специальной металлической подставке [42].

Трубку помещают в батарейную банку высотой 15-20 см и загружают испытуемым песком. Наполнение ее песком производят слоями по 2-3 см, сопровождают легкой трамбовкой и насыщают водой, для чего в батарейную банку наливают воды в таком количестве, чтобы уровень ее не превышал высоты слоя песка. Трубку загружают песком на высоту 10 см. Когда песок будет полностью насыщен водой, в батарейную банку добавляют воды в таком количестве, чтобы уровень ее был выше уровня песка в трубке на 1-2 см и ожидают момента, когда уровень воды в трубке и батарейной банке сравняются. На утрамбованный и насыщенный песок в трубке насыпают гравий слоем 1-2 см для предохранения песка от размыва. Если испытываемый песок мелкозернистый и проходит через сетку, следует предварительно на сетку заложить буферный слой толщиной 1 см более крупного песка и на него загружать слой толщиной 10 см испытываемого песка. На насыщенный водой песок наливают сверху воды до уровня на 1-2 см выше нуля. Затем трубку быстро приподнимают над батарейной банкой и закрепляют на штативе или, быстро вынув трубку из батарейной банки, устанавливают ее в чашке на специальной металлической подставке.

Засекают секундомером время прохождения уровня воды в трубке от 0 до деления 5 (для малопроницаемого песка до деления 3). Замеряют температуру воды.

На основании полученных данных вычисляют коэффициент фильтрации по формуле:

$$K = (lf / t) \cdot f(S/h) \quad (1)$$

где K - коэффициент фильтрации, см/с;

lf - длина пути фильтрации, см;

t - время понижения уровня воды в трубке от 0 до деления 3 или 5, с;

S - понижение уровня воды в трубке (см) за время t , с;

h - первоначальный напор, см.

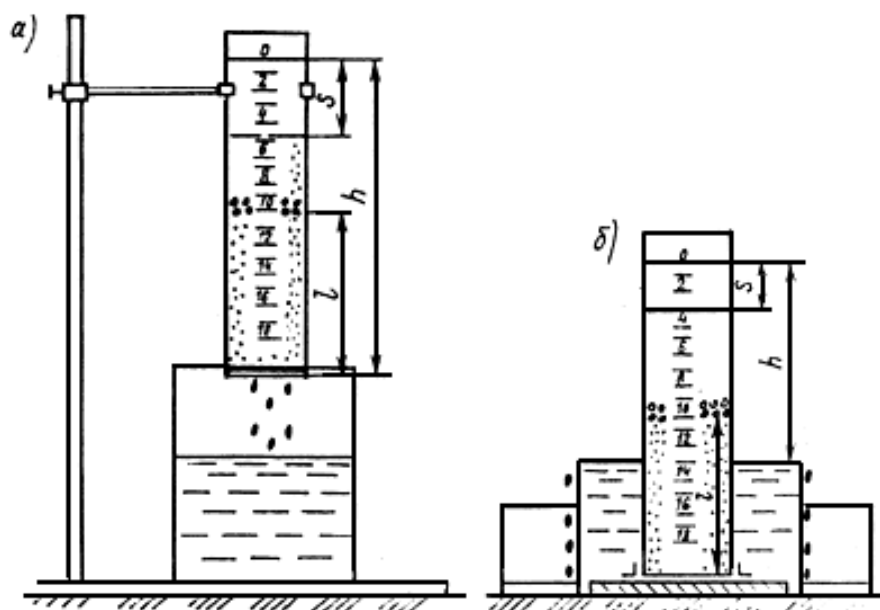


Рисунок 5 – а, б) трубка Каменского

Величину $f(S/h)$ определяют по таблице, приведенной в приложении А.

Для ускорения вычислений коэффициента фильтрации на рисунке 6 приведена номограмма Н.Н.Биндемана. Способ пользования этой номограммой следующий: приложив линейку к шкале (S/h) и к шкале времени понижения уровня, на пересечении со шкалой коэффициента фильтрации получают значение последнего.

Для приведения результатов опыта к постоянной температуре вычисляют и учитывают температурную поправку по таблице приложения Б.

Для получения средней величины коэффициента фильтрации опыт повторяют несколько раз при различных значениях S , т.е. при различных понижениях уровня воды в трубке в см за время t (с).

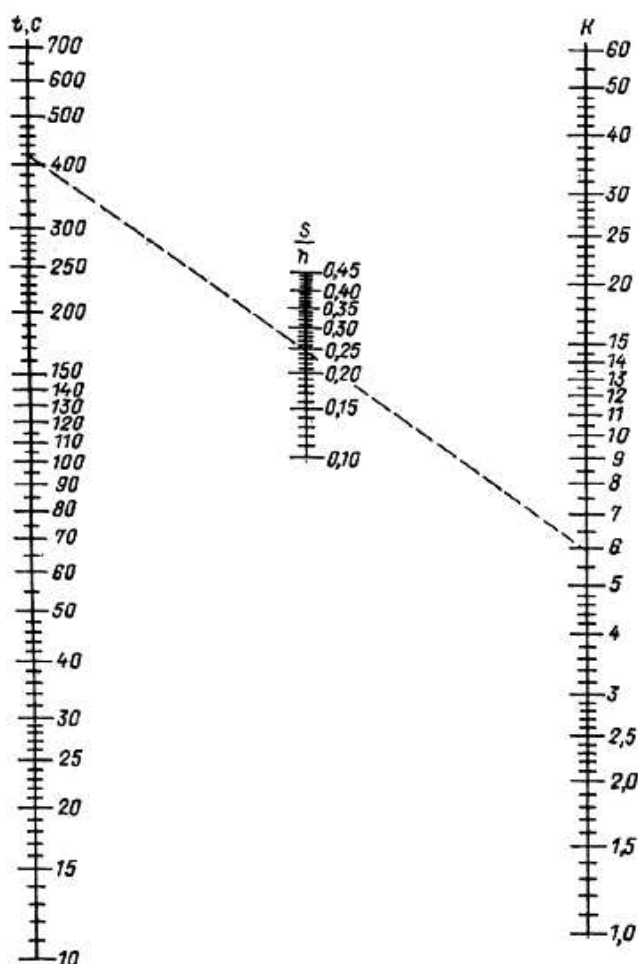
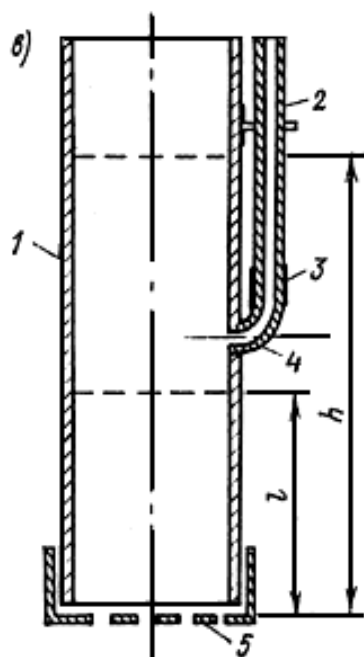


Рисунок 6 - Номограмма Н.Н.Биндемана для определения коэффициента фильтрации в приборе Каменского

Для крупнозернистых песков опыт рекомендуется производить с меньшим напорным градиентом. С этой целью трубку, наполненную насыщенным песком и водой, быстро вынимают из батарейной банки, помещают в стаканчик с водой высотой около 10 см, который в свою очередь устанавливают в чашку или кристаллизатор. При такой установке первоначальный напор должен измеряться не от 0 до деления 20, а от 0 до уровня воды в стаканчике, который должен оставаться все время на одной высоте, т.к. просачивающаяся вода будет стекать через край стаканчика (рис. 5, б).

Коэффициент фильтрации песчаных, супесчаных и пылеватых грунтов ненарушенного сложения, не содержащих частиц гравия крупнее 5-10 мм, может быть также определен с помощью модернизированной трубки Г.Н.Каменского. На рисунке 7 приведена схема этого прибора [42].



1 - корпус прибора с толщиной стенок 1,0-1,5 мм; 2 - стеклянная трубка 6 мм; 3 - резиновый манжет; 4 - колено из меди 6 мм; 5 - сетка латунная (0,15 мм).

Рисунок 6 – Модернизированная трубка Каменского

2.2 Определение коэффициента фильтрации техногенного и природного грунта

2.2.1 Методика проведения эксперимента

Складирование золошлаковых отходов (ЗШО) в основном производится в гидрозолоотвалах. При экологическом несовершенстве сооружений гидроотвалов они становятся причиной длительных технологических нарушений, отрицательно влияющих на состояние окружающей среды (загрязняющая геофильтрация протоканалов, растекание гидросмеси при прорывах дамб, эрозия и обрушение откосов дамб, подтопление и затопление прилегающих территорий, пыление тонкодисперсных фракций ЗШО на сухих надводных пляжах и др.) [43].

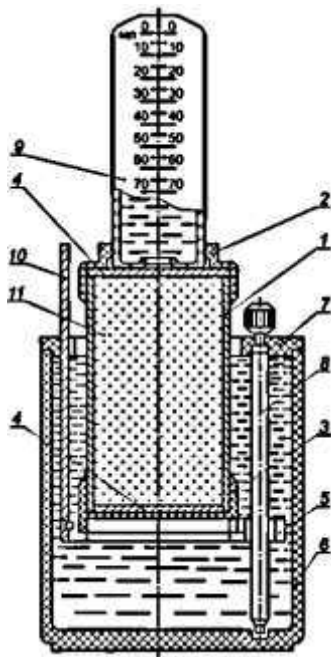
При устройстве насыпных отвалов золошлаков ТЭС необходимо воспрепятствовать проникновению атмосферных осадков и инфильтрационных вод в основания отвалов. Просачиваясь через массив отходов, эти воды обогащаются токсичными компонентами и, поступая в проницаемое основание, определяют качество подземных вод, иногда недопустимо низкое. Наиболее благоприятная ситуация складывается при наличии в основании отвала слоев слабопроницаемых (или даже водоупорных) грунтов или комплекса пород, являющихся геологическим барьером и рассматриваемых в качестве естественных противофильтрационных экранов. Если такой природный барьер отсутствует, то устройство искусственного экрана неизбежно. Для того чтобы защитить подземные воды от загрязнения фильтратом, насыщенным растворимыми компонентами отходов, применяют различные способы экранирования и устройство дренажа [43].

Для определения коэффициента фильтрации использовался ГОСТ 25584-2016 «Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации» [16].

Для определения коэффициента фильтрации грунтов при постоянном градиенте напора следует применять фильтрационные приборы.

В комплект оборудования для определения коэффициента фильтрации должны входить:

- фильтрационный прибор;
- весы лабораторные по ГОСТ 24104 [14];
- термометр с погрешностью измерения не выше $0,5^{\circ}\text{C}$;
- секундомер;
- нож из нержавеющей стали с прямым лезвием;
- лопатка;
- пресс винтовой;
- пластины плоские с гладкой поверхностью (из стекла, плексигласа или металла).



- 1 - цилиндр; 2 - муфта; 3 - перфорированное дно; 4 - латунная сетка;
5 - подставка; 6 - корпус; 7 - крышка; 8 - подъемный винт; 9 - стеклянный баллон со шкалой объема фильтрующейся жидкости; 10 - планка со шкалой градиента напора;
11 - испытуемый образец грунта

Рисунок 9 - Схема фильтрационного прибора для определения коэффициента фильтрации

К испытанию золу и грунт следует подготовить в следующем порядке:

– золу (грунт) и воду, предназначенные для определения коэффициента фильтрации, выдерживают в лаборатории до выравнивания их температуры с температурой воздуха;

– из корпуса прибора 6 продемонстрированный на рисунке 9 извлекают цилиндр 1 и снимают с него муфту 2 и перфорированное дно 3;

– заполняют цилиндр испытуемым образцом

– надевают на цилиндр с образцом грунта дно с латунной сеткой 4, покрытой кружками высокопористого материала;

– в корпус наливают воду и вращением подъемного винта 8 поднимают подставку 5 до совмещения отметки градиента напора 1,0 на планке 10 с верхним краем крышки корпуса 7;

– устанавливают цилиндр с золой (грунтом) на подставку и вращением подъемного винта плавно погружают в воду, содержащуюся в корпусе, до отметки градиента напора 0,8 и оставляют его в таком положении до момента увлажнения золы. В процессе водонасыщения золы (грунта) поддерживают постоянный уровень воды у верхнего края корпуса;

– помещают на образец латунную сетку, одевают на цилиндр муфту, вращением подъемного винта опускают фильтрационную трубку в крайнее нижнее положение для полного насыщения образца водой и оставляют на 15 мин.

Заполнение цилиндра испытуемым грунтом ненарушенного сложения выполняют в следующем порядке:

– заранее взвешенный цилиндр ставят заостренным краем на выровненную поверхность золы и винтовым прессом (или рукой) слегка вдавливают его, обозначая границы будущего образца для проведения испытаний;

– золу у заостренного края цилиндра (с внешней его стороны) срезают острым ножом, оставляя его в виде столбика диаметром на 0,5-1 мм больше диаметра цилиндра и высотой примерно 10 мм. Одновременно, по мере

срезания образца, легким надавливанием пресса постепенно надвигают цилиндр, не допуская перекоса, до полного заполнения цилиндра. В грунт, из которого не удастся вырезать столбик, цилиндр вдавливают;

– верхний торец образца зачищают ножом вровень с краями цилиндра и накрывают заранее взвешенной пластиной;

– подхватывают цилиндр с золой снизу лопаткой, переворачивают его, зачищают нижний торец образца грунта вровень с краями цилиндра и также накрывают заранее взвешенной пластиной;

– взвешивают цилиндр с образцом грунта и покрывающими его пластинами;

– определяют плотность грунта по ГОСТ 5180 [7].

Заполнение цилиндра грунтом нарушенного сложения выполняют в следующем порядке:

– на цилиндр надевают дно с латунной сеткой, покрытой кружком высокопористого материала;

– наполняют цилиндр грунтом, подготовленным в соответствии с 1.4, через верх слоями толщиной 1-2 см;

– необходимую массу грунта m в граммах вычисляют по формуле:

$$m = V\rho \text{ или } m = V \frac{1+\omega}{1+e\rho_s} \quad (2)$$

где V - объем цилиндра, см³;

ρ - заданная плотность, г/см³;

ω - влажность грунта, доли единицы;

ρ_s - плотность частиц грунта, г/см³;

e - коэффициент пористости.

Если грунт массой m не укладывается в цилиндр, то его уплотняют трамбованием.

При обоснованном отсутствии возможности определения плотности грунта ненарушенного сложения испытание грунта проводят в его предельно рыхлом и предельно плотном состояниях.

Заполнение цилиндра испытуемым грунтом в предельно рыхлом и предельно плотном состоянии выполняют в следующем порядке:

- цилиндр с дном и латунной сеткой, покрытой кружком высокопористого материала, взвешивают;

- для получения образца в предельно рыхлом состоянии цилиндр заполняют грунтом, насыпая его с высоты 5-10 см без уплотнения;

- для получения образца в предельно плотном состоянии цилиндр заполняют грунтом слоями толщиной 1-2 см с уплотнением каждого слоя путем постукивания о боковые стены цилиндра и трамбования; при наличии соответствующего оборудования допускается уплотнение на вибростоле;

- зачищают поверхность образца грунта вровень с краями цилиндра и взвешивают цилиндр с грунтом; определяют плотность грунта по ГОСТ 5180.

Испытания следует проводить поэтапно с увеличением значения градиента напора на каждом последующем этапе (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0).

Испытание осуществляют в следующем порядке:

Измеряют температуру воды.

Вращением подъемного винта поднимают цилиндр с золой (грунтом) до совмещения отметки градиента напора 0,2 на планке с верхним краем крышки корпуса и доливают корпус водой до верхнего его края.

Заполняют мерный стеклянный баллон 9 водой и, закрывая пальцем его отверстие, опрокидывают отверстием вниз, подносят как можно ближе к цилиндру с грунтом и, отнимая палец, быстро вставляют в муфту фильтрационной трубки так, чтобы его горлышко соприкасалось с латунной сеткой, а в баллон равномерно поднимались мелкие пузырьки воздуха. Если в мерный баллон прорываются крупные пузырьки воздуха, то его необходимо опустить ниже, добившись появления мелких пузырьков. Равномерное

поступление пузырьков, свидетельствующее о наступлении стационарного режима фильтрации, является обязательным условием проведения испытания.

Дожидаются момента достижения уровнем воды в мерном баллоне любой ближайшей целой отметки на шкале и включают секундомер, принимая это время за начало фильтрации воды.

Дожидаются, когда уровень воды в мерном баллоне снизится до следующей целой отметки, выключают секундомер, записывают время, объем профильтровавшейся воды и значение градиента напора, при котором происходила фильтрация.

Не извлекая мерного баллона из муфты, вращением подъемного винта быстро устанавливают градиент напора 0,4. Аналогичные действия осуществляют и на последующих этапах испытания с другими значениями градиента напора.

Допускается увеличение или уменьшение задаваемого объема воды, который должен профильтроваться на каждом этапе испытания, в зависимости от скорости протекания фильтрационного процесса.

В случае опустошения мерного баллона следует извлечь его из муфты, наполнить водой и продолжить испытания.

По результатам испытания следует построить график v - I .

Скорость фильтрации v , см/с, вычисляют по формуле

$$v = \frac{V}{tF} \quad (3)$$

где V - объем воды, профильтровавшейся на этапе испытания, см³;

t - время фильтрации на этапе испытания, с;

F - площадь поперечного сечения цилиндра с грунтом, см².

Проводят диагностику полученных результатов с применением построенного графика. Опытные точки на графике должны накладываться на

прямую линию, выходящую из начала координат, что является показателем корректности проведения испытания. В случае необходимости следует провести отбраковку недостоверных опытных точек и аппроксимировать оставшиеся прямой линией, выходящей из начала координат. Число точек для аппроксимации должно быть не менее трех, в противном случае испытание следует повторить.

Коэффициент фильтрации K , см/с, при температуре проведения испытания, равный угловому коэффициенту построенной прямой линии, вычисляют по формуле:

$$K = \frac{v}{l} \quad (4)$$

где v и l - координаты произвольной точки на построенной прямой линии.

Коэффициент фильтрации K_{10} , м/сут, приведенный к условиям фильтрации при температуре 10°C , вычисляют по формуле:

$$K_{10} = 864 \frac{K}{T} \quad (5)$$

где $T = (0,7 + 0,03T\varphi)$ - поправка для приведения значения коэффициента фильтрации к условиям фильтрации воды при температуре 10°C ;

$T\varphi$ - фактическая температура воды при испытании, $^\circ\text{C}$;

864 - переводной коэффициент (из сантиметров в секунду в метры в сутки).

Коэффициент фильтрации вычисляют до второй значащей цифры.

2.2.2 Результаты определения коэффициента фильтрации

Был проведен опыт с золой которую складировали в накопитель и грунтом (суглинок). Образец золы по гранулометрическому составу соответствовал пылеватому песку с включениями крупнозернистых фракций, также встречались небольшие включения шлака. Гранулометрический состав золы указан в таблице 1, взятый для проведения эксперимента.

Таблица 1- Гранулометрический состав золы

Фракция, мм	0,1	0,25	0,5	более 0,5	более 2
Образец: зола Содержание в %	10,7	26,9	46	13,12	3,28
Образец: грунт(суглинок) Содержание в %	2,5	32,8	48,3	15,3	1,1

Коэффициент фильтрации образцов определялся по методике Г.Н. Каменского [42]. Труба диаметром $d=0,3$ м и высотой 0,45 м, устанавливается на песчано-гравийную подушку и заполняется на высоту 0,03 м образцом, и заливается водой. Образец затвердевал непосредственно в приборе и снизу был подтоплен водой для вытеснения защемленного воздуха. После твердения (от 24 ч до 10 суток), в прибор заливалась вода до отметки 0,15 м и начиналась фильтрация. Каждый образец заливали водой три раза, для определения среднего коэффициента фильтрации.

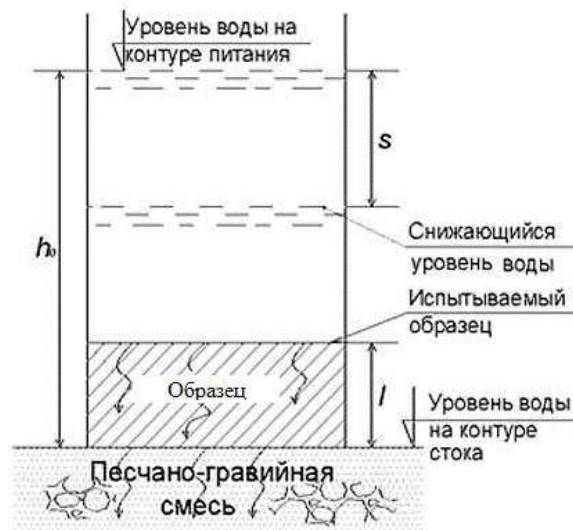


Рисунок 10 – Схема опытной установки

Измеряя скорость снижения уровня воды в приборе, можно определить коэффициент фильтрации образца. Опытная установка изображена на рисунке 11. Величина фильтрующего расхода определяется законом Дарси. Градиент фильтрационного потока i определяется разностью напоров, отнесенной к длине пути фильтрации; произведя все необходимые подстановки и преобразования, решаем уравнение относительно коэффициента фильтрации:

$$K_{\phi} = 2,3 \frac{l}{t} \lg \frac{h_0}{h_0 - s}, \frac{\text{м}}{\text{сут}} \quad (6)$$

где l – высота исследуемого образца, м;

t – время, с;

h_0 – высота воды, заливаемой в трубу, м;

s – путь, пройденный уровнем воды к этому времени, м.

По данным замеров положения уровня воды в приборе на различные моменты времени строится график зависимости $s = f(t)$ в координатах $\lg \frac{h_0}{h_0 - s}$ и t .

График должен иметь вид прямой линии с угловым коэффициентом $r = 2,3/l$.



Рисунок 11 - Общий вид опытной установки

Первая серия опытов была проведена с использованием золы, складываемой в накопитель. Образец золы поместили в трубу и залили водой, измеряя время, за которое вода проходит через грунт и расстояние, пройденное водой за это время. По формуле (6) определили коэффициент фильтрации. Опыт повторили три раза для трех кернов с образцом золы. Коэффициент фильтрации в первом опыте равен 0,019 м/сут, во втором равен 0,021 м/сут, в третьем – 0,020 м/сут. Полученный в этой серии опытов средний коэффициент фильтрации равен 0,02 м/сут.

Во второй серии опытов испытывали образец грунта (суглинок). Опыты проводились по аналогии с предыдущими. Взяли три образца суглинка, залили водой и, измерив параметры, вычислили коэффициент фильтрации. Полученный в этой серии опытов средний коэффициент фильтрации равен 0,031 м/сут. Коэффициент фильтрации в первом опыте равен 0,031 м/сут, во втором равен 0,032 м/сут, в третьем – 0,030 м/сут.

Соотношение коэффициента фильтрации золы и суглинка по результатам серии опытов представлена в виде графика на рисунке 12.

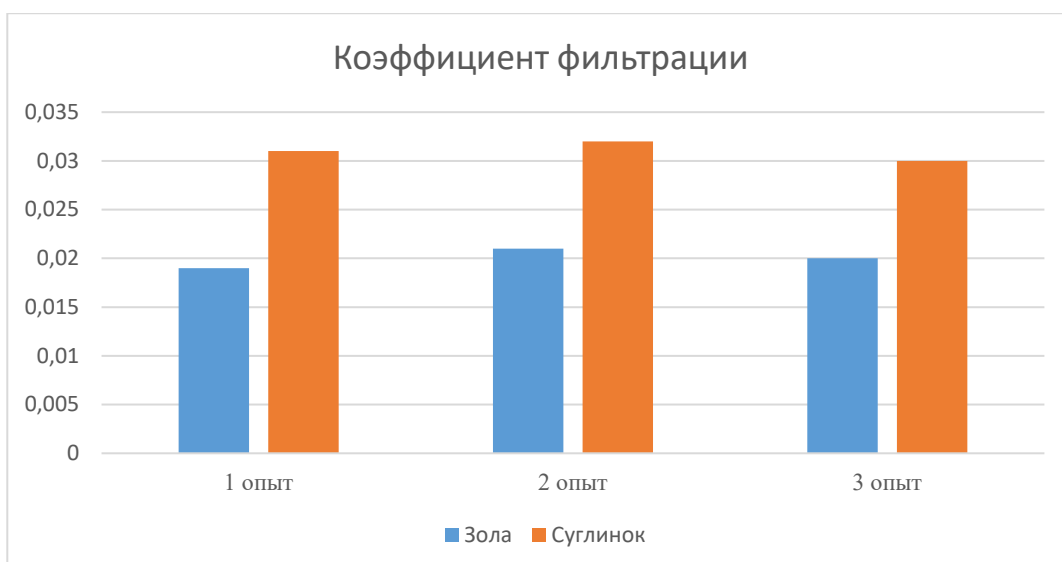


Рисунок 12 – Соотношение коэффициента фильтрации золы и суглинка по результатам серии опытов

Вывод. Чрезвычайно простым методом определения коэффициента фильтрации сыпучих грунтов является метод, разработанный Г. Н. Каменским, при котором коэффициент фильтрации определяют в приборе, получившем название трубки Г. Н. Каменского.

Экспериментальные исследования заключались в проведении испытания золы, складываемой в накопитель и грунта в основании дамбы для определения коэффициента фильтрации.

Коэффициент фильтрации для образцов золы в первом опыте равен 0,019 м/сут, во втором равен 0,021 м/сут, в третьем – 0,020 м/сут. Полученный в этой серии опытов средний коэффициент фильтрации равен 0,02 м/сут.

Полученный средний коэффициент фильтрации в серии опытов с образцами суглинка равен 0,031 м/сут. Коэффициент фильтрации в первом опыте равен 0,031 м/сут, во втором – 0,032 м/сут, в третьем – 0,030 м/сут.

3 Численное обоснование безопасной эксплуатации накопителя

3.1 Физико – географические условия объекта

Численное моделирование накопителя произведено с учетом примерных исходных данных для золоотвала который находится находится в 26 км от г. Иркутска, рядом с г. Ангарском и в 3 км к юго-востоку от промплощадки станции, в заболоченной долине р. Еловка – левого притока р. Ангары.

В геоморфологическом отношении участок находится на III-ей надпойменной террасе р. Ангары и характеризуется равнинным слабо расчлененным рельефом с общим уклоном поверхности в сторону р. Ангары. Абсолютные отметки поверхности рельефа составляют 422-442 метра [4].

Климатическая характеристика

Климат рассматриваемой территории резко континентальный с холодной продолжительной зимой и коротким, относительно жарким летом. В любой сезон года возможны резкие изменения погоды, переход от тепла к холоду, резкие колебания температуры воздуха от месяца к месяцу, от суток к суткам и в течение суток.

Все климатические характеристики приведены по м/ст Ангарск и м/ст Иркутск, обсерватория.

Температура воздуха

Среднегодовая температура воздуха – отрицательная (минус 1,3°C). Период с отрицательными температурами воздуха продолжается с ноября по март.

Среднемесячная температура января – минус 22,3°C, наряду с морозами в зимние месяцы могут наблюдаться оттепели с максимальной температурой порядка 1 – 5°C. Однако, оттепели зимой – явление кратковременное.

Среднемесячная температура июля – плюс 17,8°C. Ни один летний месяц не гарантирован от понижения температуры до заморозка в воздухе или почве. В основном заморозки прекращаются в конце мая – начале июня и

возобновляются в начале сентября. Продолжительность безморозного периода составляет в среднем 100 дней.

Осадки

В годовом ходе осадков минимум наблюдается в феврале, максимум падает на июль. В летний период осадки носят как обложной, так и ливневый характер. Отмечается выпадения града. В целом по району выпадает 386 мм.

Снежный покров

Снежный покров образуется в основном в конце первой – начале второй декады ноября и держится в среднем 150 дней. Максимальная высота снежного покрова отмечается в конце февраля, среднемесячная максимальная высота снежного покрова достигает 39 см для защищенного от ветра места. 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 юго-восточного (повторяемость 23%) и северо-западного (повторяемость 32%) направлений. Среднегодовая скорость ветра составляет 2,4 м/с. Для зимнего периода средние скорости ветра – наименьшие. Весной они возрастают и достигают наибольших в году значений. Летом среднемесячные скорости вновь уменьшаются.

Испарения

Испарение с водной поверхности главным образом зависит от дефицита влажности воздуха, скорости ветра и защищенности водоема. В целом за год испаряется около 55 см влаги. Максимальная среднемесячная величина не превышает 15 см.

Геологическое строение основания и тела дамбы

В геологическом отношении район гидроотвала находится в пределах Иркутск-Черемховского угольного бассейна, приуроченного к предгорному прогибу юрского возраста. Коренные породы представлены среднеюрскими континентальными отложениями верхней (непромышленной) свиты (J2),

сложной переслаивающимися мелкозернистыми глинистыми песчаниками и пестроцветными глинистыми сланцами. На глубину более 10-15 м от кровли породы подвержены глубокому физико-химическому выветриванию и представлены рыхляками, 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 от 4,3 м до 12,0 м.

По данным пройденных скважин разрез участка дамбы гидроотвала представлен следующими инженерно-геологическими элементами:

ИГЭ-1. Насыпные грунты тела дамбы I–III очереди расширения представлены гравийно-галечниковыми и галечниковыми с песчаным заполнителем буровато-серого цвета – 30-40%, с линзами песков и супесей, и песками гравелистыми и крупными серого и желто-серого цвета, с линзами супеси, суммарной мощностью 1,4-8,0 м. Грунты неоднородной плотности, маловлажные, влажные и водонасыщенные.

Грунты, образующие тело дамбы I очереди залегают непосредственно на аллювиальных четвертичных отложениях, дамбы II и III очередей – на намывных золах золоотвала.

Усредненный грансостав гравийно-галечниковых и галечниковых грунтов: содержание гальки – 51%, гравия – 16%, песчаных частиц от 2 до 0,1 мм – 30%, фракции менее 0,1 мм – 3%. Галька представлена изверженными, реже осадочными породами.

Усредненный грансостав песков: галька – 19%, гравий – 15%, песчаных частиц от 2 до 0,1 мм – 55%, фракция менее 0,1 мм – 11%.

Объемный вес и естественная влажность насыпных грунтов определялись опытным путем методом лунки (из 3-х определений) на дамбе III очереди. Получены следующие характеристики физико-механических свойств: объемный вес – 2,04 г/см³, естественная влажность – 0,06, объемный вес

скелета – 1,92 г/см³, коэффициент пористости – 0,39, пористость – 28%, степень влажности - 0,41.

Коэффициент фильтрации, по данным экспресс-откачек, составляет от 0,59 до 0,79 м/сут, средний – 0,67 м/сут.

ИГЭ–1в. Намывные золы и золошлаки, по ГОСТ 25100-82, классифицируются песками разномерными (крупный, мелкий, пылеватый) серого и голубовато-серого цвета, рыхлыми и средней плотности, влажными и водонасыщенными. Суммарная мощность золных отложений, залегающих на аллювиальных четвертичных отложениях, составляет 0,8-9,2 м. Усредненный грансостав: галька – 1%, гравий – 11%, песчаных частиц от 2 до 0,1 мм – 51%, фракция менее 0,1 мм – 37%.

Характеристики физико-механических свойств следующие: удельный вес – 2,17 г/см³, объемный вес в естественном залегании – 1,53 г/см³, в рыхлом состоянии – 1,19 г/см³, в плотном состоянии – 1,35 г/см³, естественная влажность – 0,37, объемный вес скелета – 1,12 г/см³, коэффициент пористости – 0,937, пористость – 48,4%.

Коэффициент фильтрации, по данным экспресс-откачек колеблется от 0,095 до 0,21 м/сут., средний – 0,15 м/сут.

Модуль деформации, по аналогии с изученными НОТЭПом золоотвалами ТЭС Восточной Сибири принимается $E=15-20$ кгс/см².

ИГЭ–3. Супесь бурая, средней плотности, пластичная, с линзами песка, суглинка. Усредненный грансостав: содержание гальки и гравия – 5%, песчаных частиц от 2 до 0,1 мм – 35%, фракция менее 0,1 мм – 60%. Отложения супеси переслаиваются с песками разномерными и гравелистыми и имеют мощность от 0,8 до 4,0 м.

Коэффициент фильтрации, по данным экспресс-откачек, колеблется от 0,021 до 0,17 м/сут., средний – 0,12 м/сут.

ИГЭ–4. Песок разномерный, серого цвета, на отдельных участках с линзами супеси, рыхлый и средней плотности, влажный и влагонасыщенный.

Пески составляют верхнюю часть разреза аллювиальных грунтов, переслаиваясь с супесями и имеют мощность от 0,8 до 6,0 м.

Усредненный грансостав: галька и гравий – 11%, песчаных частиц от 2 до 0,1 мм – 69%, фракция менее 0,1 мм – 20%.

Коэффициент фильтрации, рассчитанный по данным экспресс-откачек, 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 грансостав: галька – 18%, гравий – 22%, песчаных частиц от 2 до 0,1 мм – 37%, фракция менее 0,1 мм – 23%. Гравелистые пески составляют переходной слой между вышележащими песками средней плотности и рыхлыми гравийно-галечниковыми грунтами, и имеют мощность от 1,0 до 3,0 м.

Коэффициент фильтрации, по данным экспресс-откачек, 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. Галька представлена крепкими изверженными, реже осадочными породами и кварцем, преимущественный размер гальки – 3-8 см.

Усредненный грансостав: галька – 47%, гравий – 20%, песчаных частиц от 2,0 до 0,1 мм – 28%, фракция менее 0,1 мм – 5%.

Коэффициент фильтрации принят по аналогии с участком промплощадки ИТЭЦ–10 по данным кустовой откачки в скв. 1018 (НОТЭП, 1989 г.) и составляет 64,4 м/сут.

ИГЭ–6. Коренные породы: песчаники рассланцованные с линзами алевролитов, зеленовато-серого цвета, трещиноватые, выветрелые до рыхляков и сапролитов. При бурении в сухую керн представлен щебенисто-дресвяным грунтом с суглинистым заполнителем, столбики суглинка твердой консистенции.

Коэффициент фильтрации, по данным предприятия п/я 100 (1955 г.), составляет 2,0 м/сут. Скважинами пьезосети коренные породы изучены на глубину до 3,0 м от кровли.

ИГЭ–7. Суглинок серый, туго и мягкопластичный. Усредненный грансостав: галька – 14%, гравий – 21%, песчаных частиц от 2,0 до 0,1 мм – 38%, фракция менее 0,1 мм – 27%.

Коэффициент фильтрации, по данным экспресс-откачек, составляет от 0,021 до 0,29 м/сут., средний – 0,19 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 золы золоотвала, составляют от 8,6 м в южной части до 17,4 м в северной части золоотвала. Характеристики всех грунтов, слагающих геологию основания и ограждающих дамб представлены в табл. 1.

Гидрогеология и гидрогеохимия

Гидрогеологические условия участка определяются наличием заполненной до отметки 432,0 м чаши золоотвала и канала осветленной воды с отметкой воды 427,8 м. Приблизительный состав сбросных вод представлен в табл. 2.

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

По последним наблюдениям подземные воды залегают на глубине 0,65–2,3 м. Воды пресные ($M=0,28-0,76$ г/л), гидрокарбонатно-кальциево-натриевые, щелочные (рН от 7,0 до 8,7), жесткость общая 50,0–60,0 мг экв/л. Минерализация осветленной воды золоотвала из открытого отводящего канала составляет 0,37 – 0,49 г/л, а минерализация в протоке Еловой – 0,16–0,17 г/л.

Мерзлотный режим

Нормативная глубина сезонного промерзания составляет 2,8–3 м. Криогенные процессы и обусловленные ими деформации (пучение,

трещинообразование, солифлюкция, льдообразование, термокарст и др.) на данном объекте не наблюдались. Но необходимо отметить отрицательное влияние процесса сезонного промерзания – оттаивания на рассмотренной ниже локальной деформации низового откоса, имевшей место на ПК 43÷00 и ПК 40÷20. Сейсмичность района – 7 баллов [26].

3.2 Расчет устойчивости откоса ограждающей дамбы

Составление расчетной схемы

На чертеже (рис. 13) должны быть показаны ломаными линиями поверхность откоса, границы слоёв грунта и кривая депрессии. При проведении расчёта локальных минимумов в заданных областях откоса показываются также круглоцилиндрические поверхности для начала поисков минимумов.

Чертёж располагается в 1 квадранте декартовых координат. Направление оси абсцисс от бровки откоса к подошве, оси ординат – снизу вверх (рис. 13). Рекомендуется выполнять чертёж на миллиметровке в масштабе 1:100 при высоте откоса до 40–50 м и 1:500 – при большей высоте. На чертеже должны быть обозначены вертикальные границы (левая и правая) и нижняя граница расчетной области [34].

Нижняя граница должна быть доведена до обеих вертикальных границ. В случае если основание является практически бесконечной толщиной нескального грунта (более 3Н), нижняя граница принимается на глубине не менее 1,5Н от отметки подошвы откоса (Н – высота откоса); все размеры принимаются в метрах.

При наличии в основании прочного скального грунта нижняя граница принимается по его поверхности.

Расстояние до вертикальных границ чертежа рекомендуется принимать от 1,5 до 2 Н от подошвы откоса по направлению оси абсцисс и 1,5–2 Н от бровки откоса – в обратном направлении.

При расчете откосов намывных накопителей левая боковая граница должна включать прудковую зону на расстояние не менее $1,5-2H$.

Не допускается обрывать ломаные линии поверхности откоса, кривой депрессии и незамкнутых границ слоев, не доводя их до границ чертежа.

Нумерация слоев грунта производится от вышележащих слоев к нижележащим. Вертикальная линия, проведенная в какой-либо точке чертежа, не должна пересекать слой с большим номером выше слоя с меньшим номером.

Границей слоя грунта считается ломаная линия, ограничивающая его снизу.

Крайние точки границы каждого слоя должны быть расположены на ломаных линиях поверхности откоса, на границах пронумерованных выше слоев или на вертикальных границах [34].

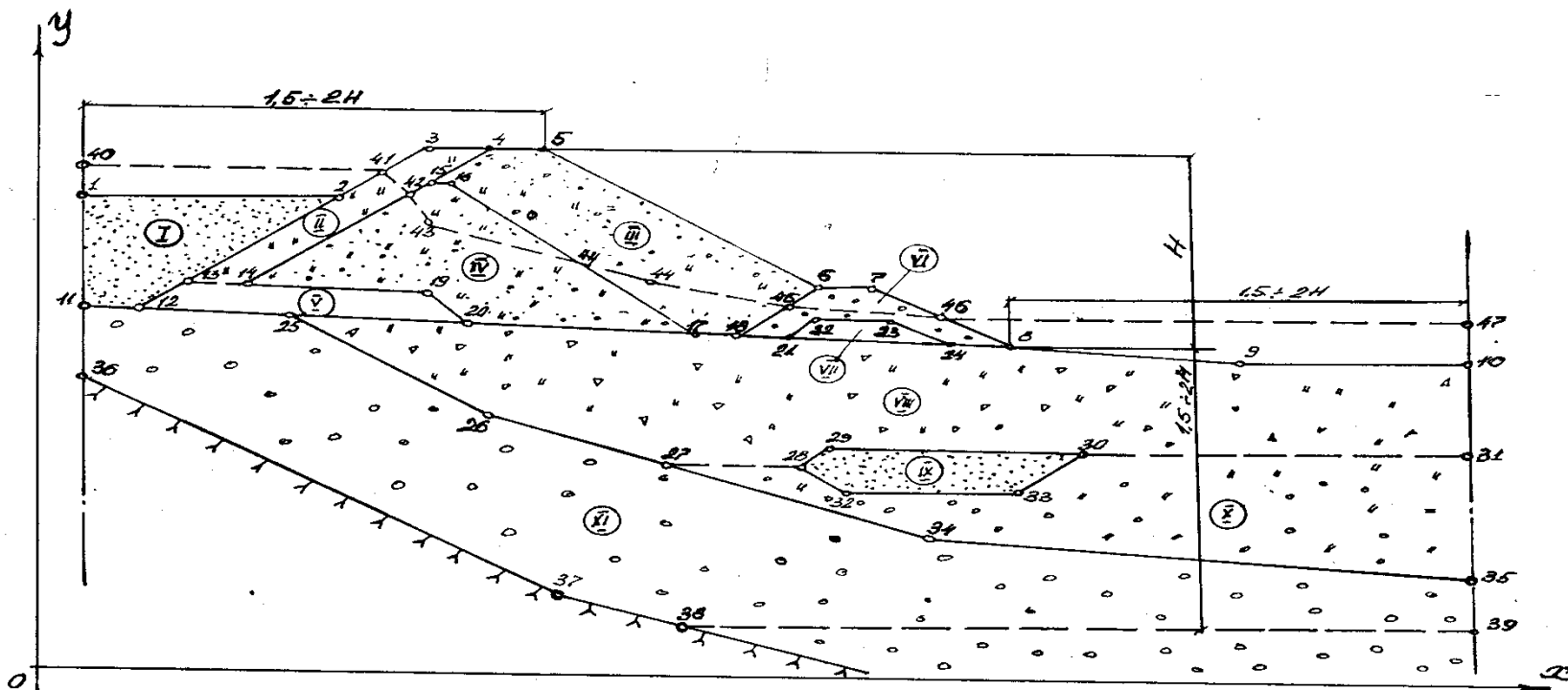
Не допускается, чтобы граница слоя пересекалась вертикальной линией дважды.

В случае, если конфигурация какого-либо слоя не отвечает указанным условиям, его следует условно разделить на два или несколько слоев.

Кривая депрессии изображается непрерывной ломаной линией. Крайние точки должны располагаться на вертикальных границах чертежа.

На участке, где откос затоплен, за линию кривой депрессии принимается уровень воды.

На чертеже нумеруются (1, 2, 3,) без пропусков все точки переломов ломаных линий на поверхности откоса, на кривой депрессии, на границах слоев



Поверхность откоса – № 1–10; граница слоя I – № 11–13, 2; граница слоя II – № 13–15, 4; граница слоя III – № 15–18, 6; граница слоя IV – № 14, 19, 20, 17; граница слоя V – 12, 25, 20; граница слоя VI – № 18, 21–24, 8; граница слоя VII – № 21, 24; граница слоя VIII – № 25–31; граница слоя IX – № 28, 32, 33, 30; граница слоя X – № 27, 34, 35; граница слоя XI – № 36–39; кривая депрессии – № 40–47; левая граница сечения – № 40, 41, 36; правая граница сечения – № 47, 10, 31, 35

Рисунок 13 – Пример обозначения линий на расчетном сечении

грунта, (нижняя граница), а также точки пересечения этих линий с вертикальными границами чертежа. Порядок нумерации произвольный.

Для каждой из пронумерованных точек определяются в масштабе чертежа их координаты X и Y.

Если случайно пронумерованы лишние точки, которые в дальнейшем при подготовке исходных данных не будут включены в описание ломаных линий, то нумерацию можно не исправлять, так как указанные точки автоматически исключаются из расчета.

В случае необходимости проведения расчетов в заданных областях откоса на чертеже должны быть показаны круглоцилиндрические кривые для начала поиска локальных минимумов. Для каждой из них определяются координаты X и Y трех точек – левой и правой точек выхода кривой на поверхность откоса и промежуточной точки. В общую нумерацию указанные точки можно не включать.

Расстояние по оси абсцисс от промежуточной точки до крайней левой и правой точек следует принимать примерно одинаковым.

Координаты точек пересечения круглоцилиндрических кривых с поверхностью откоса определяются по масштабу чертежа; необходимости в их точном вычислении нет. Уточнение производится автоматически в ходе расчета.

В расчете учитываются следующие показатели грунта:

$\rho_{\text{вл}}$ (т/м³) – объёмный вес влажного грунта выше депрессионной поверхности;

ρ_{w} (т/м³) – объёмный вес водонасыщенного грунта ниже депрессионной поверхности; программа автоматически разделяет грунт каждого слоя на влажный и водонасыщенный - по положению кривой депрессии.

$tg \varphi_{\text{вл}}$ – коэффициент внутреннего трения влажного грунта;

$tg \varphi_{\text{w}}$ – то же, для грунта в водонасыщенном состоянии;

$C_{\text{вл}}$ (т/м²) – коэффициент сцепления влажного грунта;

C_w (т/м²) – то же, для грунта в водонасыщенном состоянии;

$\xi_{вл}$ (в долях от 1) – коэффициент бокового давления влажного грунта в состоянии покоя;

ξ_w (в долях от 1) – то же, для грунта в водонасыщенном состоянии.

Коэффициенты бокового давления участвуют в расчётах только при определении коэффициента запаса устойчивости по способу бокового давления.

Коэффициент ξ можно принимать по справочным данным.

U (в долях единицы) – коэффициент степени консолидации грунта, относящийся только к водонасыщенной части данного слоя грунта.

Численное значение разности $1-U$ показывает, какая часть давления грунта передаётся на воду, находящуюся в порах водонасыщенного грунта (доля порового давления); для полностью консолидированных грунтов $U=1$, для пульпы $U=0$.

Коэффициент сейсмичности K_c (в долях единицы) принимается по нормам СНиП П-7-81 [38].

Таблица 2 – Коэффициенты сейсмичности в зависимости от баллов землетрясения

Баллы землетрясения	4	5	6	7	8	9
Коэффициент сейсмичности K_c	0.005	0.010	0.015	0.025	0.050	0.100

Таблица 3 – Коэффициент запаса устойчивости K_3

Класс сооружения	K_3
I	1.25
II	1.20
III	1.15
IV	1.10

Таблица 4 – Физико-механические свойства грунтов и отходов

Наименование грунта	Плотность сухого грунта скелета ρ_s , т/м ³	Плотность влажного грунта ρ_d , т/м ³	Угол внутреннего трения φ , град ($tg\varphi$)		Коэффициент сцепления, С, т/м ²		Коэффициент бокового давления ξ , д.е.	Коэффициент степени консолидации U, д.е
			в естествен. сост.	в водонасыщ. сост.	в естест. сост.	в водонасыщ. сост.		
Суглинок	1,24-1,40	1,33	17 (0,31)	15 (0,27)	0,25	0,2	0,65	1
Супесь	1,3-1,5	1,23	15 (0,27)	13 (0,23)	0,35	0,3	0,5	1
Щебень	2,3-2,5	1,6	44 (0,96)	39 (0,81)	0	0	0,28	1

Результаты расчетов

Был произведен расчет устойчивости откоса ограждающей дамбы без учета сейсмической активности и с учетом от 4 до 9 баллов.

Минимальные расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости, полученные по способу весового и бокового давления, сравниваются с допустимыми значениями K_3 для сооружений соответствующего класса по СНиП 2.06.01-86 (для нашего сооружения принимаем $K_3 = 1,15$) [9]. При $K_{расч} < K_{дон}$ устойчивость откоса не обеспечивается; при $K_{расч} = K_{дон}$ откос находится в состоянии относительного равновесия; $K_{расч} > K_{дон}$ откос устойчив.

Схемы с результатами расчетов представлены ниже.

Сейсмичность 4 балла $K_3 = 0.005$

Схема с возможными разрушениями при воздействии сейсмических сил 4 балла представлена на рисунке 14 и смоделирована на основании результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы, представленных в виде таблицы в приложении В.

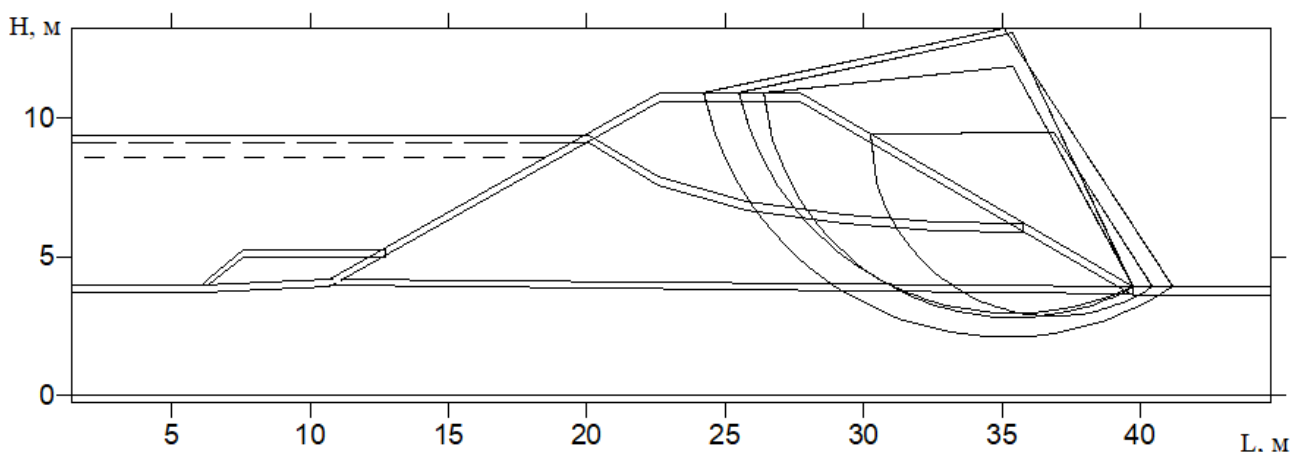


Рисунок 14– Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы при сейсмической активности 4 балла

Анализ полученных результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 4 балла показал, что

минимальные расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости, полученные по способу весового и бокового давления равны $1,52 \div 1,59$, сравнивая их с допустимыми значениями $K_3 = 1,15$, получаем $K_{расч} > K_{доп}$, соответственно при землетрясении 4 балла откос будет устойчив.

Сейсмичность 5 баллов $K_3 = 0.010$

Схема с возможными разрушениями при воздействии сейсмических сил 5 балла представлена на рисунке 15 и смоделирована на основании результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы, представленных в виде таблицы в приложении Г.

Анализ полученных результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 5 баллов показал, что минимальные расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости, полученные по способу весового и бокового давления равны $1,492 \div 1,493$, сравнивая их с допустимыми значениями $K_3 = 1,15$, получаем $K_{расч} > K_{доп}$, соответственно при землетрясении 5 баллов откос будет устойчив.

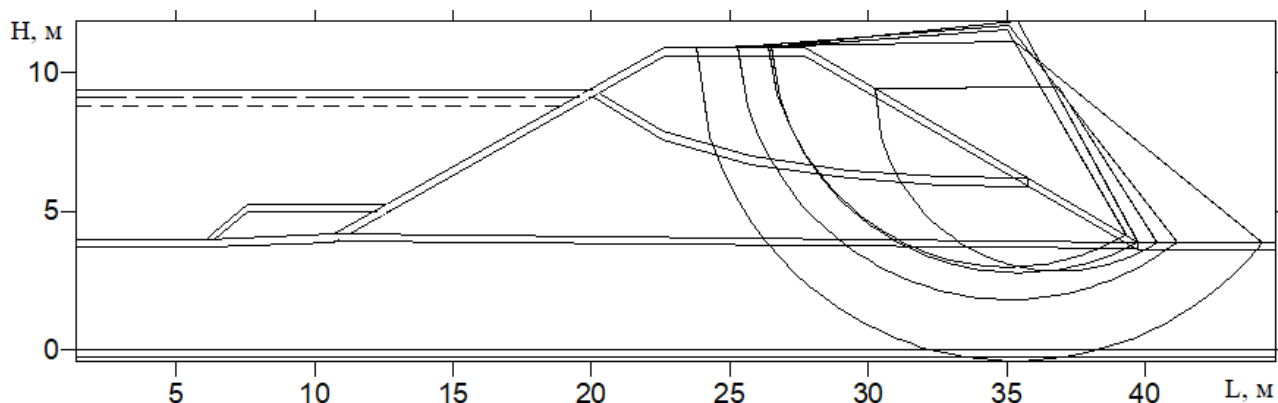


Рисунок 15 – Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы при сейсмической активности 5 баллов

Сейсмичность 6 баллов $K_3 = 0.015$

Схема с возможными разрушениями при воздействии сейсмических сил 6 балла представлена на рисунке 16 и смоделирована на основании результатов

расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы, представленных в виде таблицы в приложении Д.

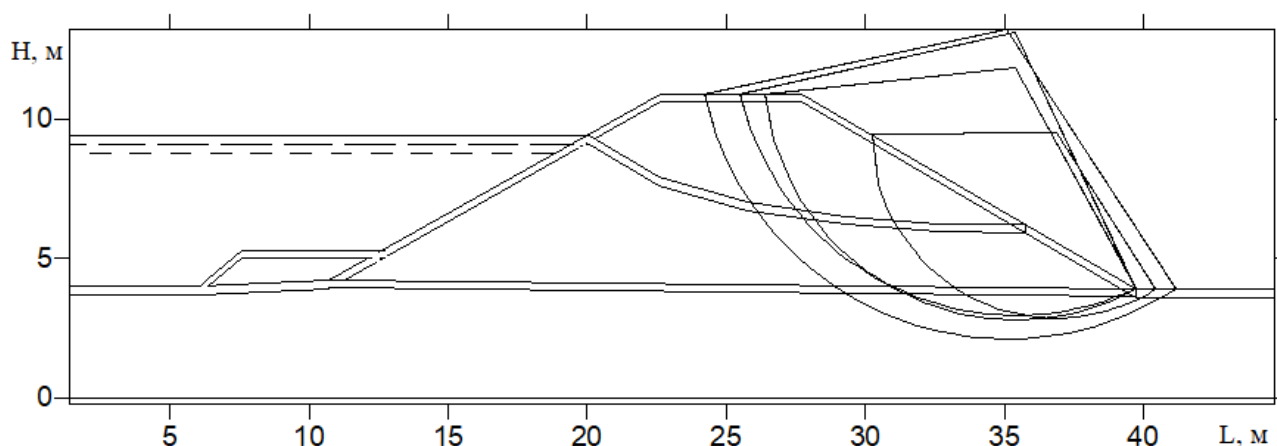


Рисунок 16 – Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы при сейсмической активности 6 баллов

Анализ полученных результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 6 баллов показал, что минимальные расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости, полученные по способу весового и бокового давления равны $1,39 \div 1,49$, сравнивая их с допустимыми значениями $K_s = 1,15$, получаем $K_{расч} > K_{доп}$, соответственно при землетрясении 6 баллов откос будет устойчив.

Сейсмичность 7 баллов $K_s = 0.025$

Схема с возможными разрушениями при воздействии сейсмических сил 7 балла представлена на рисунке 17 и смоделирована на основании результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы, представленных в виде таблицы в приложении Е.

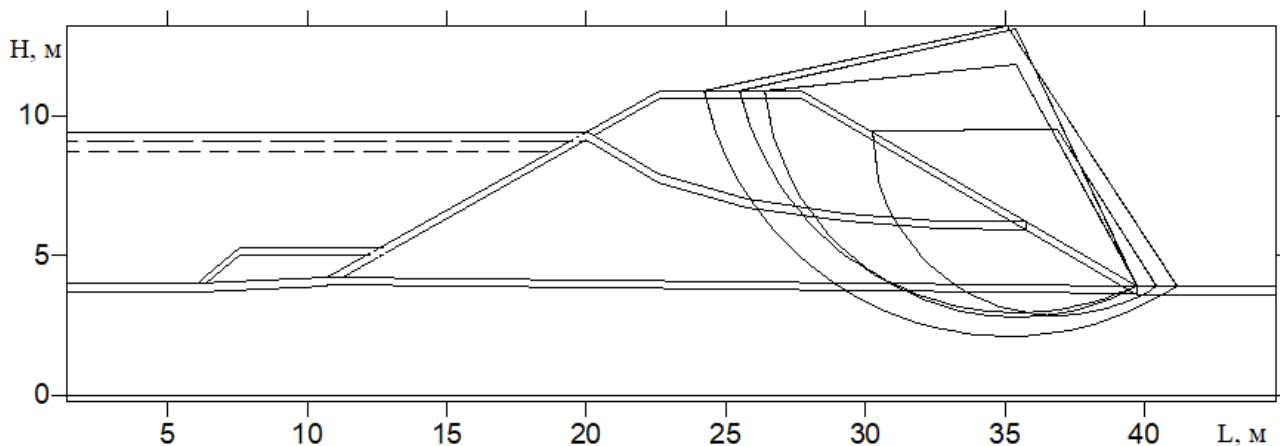


Рисунок 17 – Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы при сейсмической активности 7 баллов

Анализ полученных результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 7 баллов показал, что минимальные расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости, полученные по способу весового и бокового давления равны 0.46, сравнивая с допустимыми значениями $K_3 = 1,15$, получаем $K_{расч} < K_{доп}$, соответственно при землетрясении 7 баллов устойчивость откоса уже не будет обеспечена.

Расчет для 8 и 9 баллов произведен, чтобы оценить картину разрушений.

Сейсмичность 8 баллов $K_3 = 0.050$

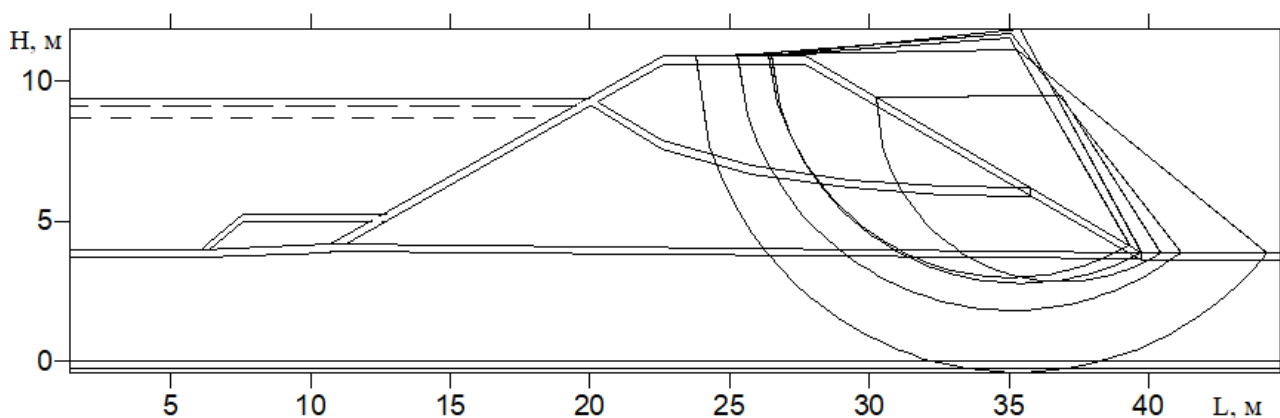


Рисунок 18 – Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы при сейсмической активности 8 баллов

Сейсмичность 9 баллов $K_3=0.100$

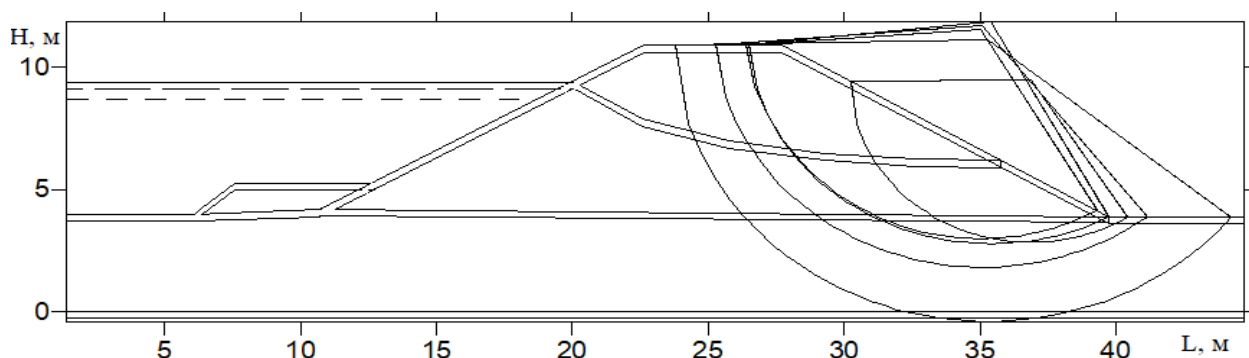


Рисунок 19 – Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы при сейсмической активности 9 баллов

3.3 Рекомендации по предотвращению разрушения откоса ограждающей дамбы в результате сейсмической активности

Анализ полученных результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы показал, что при землетрясении от 4 до 6 баллов разрушений не произойдет, но уже при землетрясении в 7 баллов начнется разрушение откосов. Для предотвращения разрушения необходимо провести мероприятия по выполаживанию.

Выполаживание откосов осуществляются с целью повышения устойчивости, предотвращения локальных разрушений и исключения вредного воздействия на окружающую среду. Крутые откосы чаще подвержены оползневым явлениям, водной и ветровой эрозии, разрушению вследствие землетрясения.

Расчет для 7 баллов был произведен еще раз, но уже с учетом более пологого угла заложения откосов. Схема при воздействии сейсмических сил 7 балла представлена на рисунке 20 и смоделирована на основании результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы, представленных в виде таблицы в приложении Ж.

Анализ результатов расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с более пологим углом заложения показал, что мероприятия по выполаживанию можно считать эффективными, так как минимальные расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости полученные по способу весового и бокового давления равны $1.15 \div 1.16$, сравнивая их с допустимыми значениями $K_z = 1,15$, получаем $K_{расч} \geq K_{дон}$, соответственно при землетрясении 7 баллов откос будет устойчив, в крайнем случае будет находиться в состоянии равновесия.

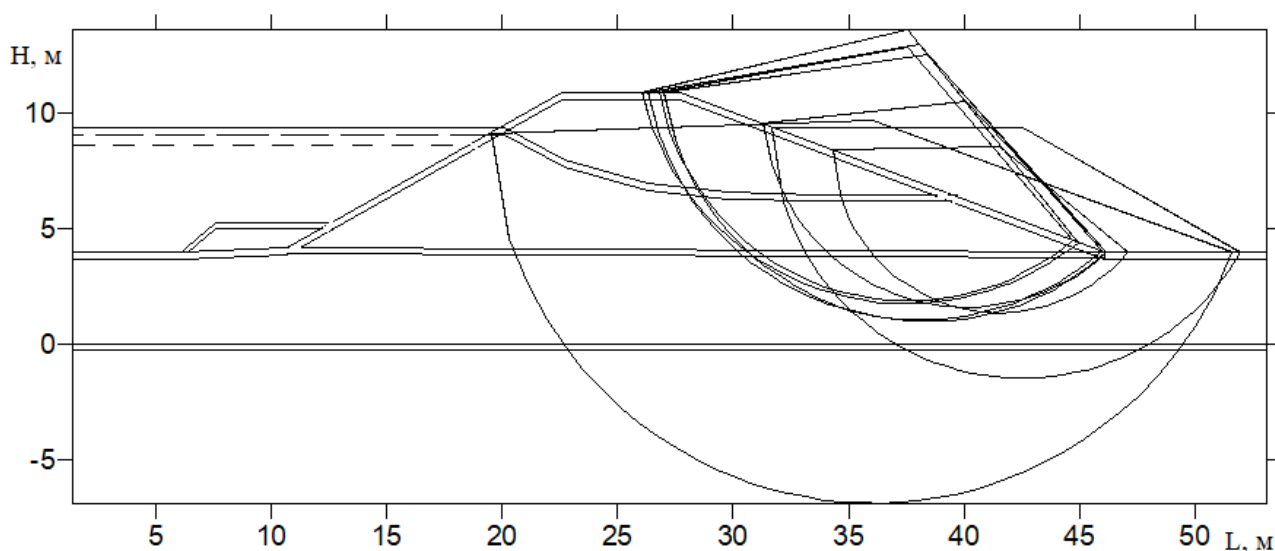


Рисунок 20 – Результат расчета для 7 баллов с учетом выполаживания откоса

3.4 Аналитический расчет устойчивости

При планировании неудобных земель под строительство, осуществляемое по террасному способу, перепад от одной террасы к другой оформляется откосом. На площадках промышленных углов возводятся земельные сооружения с откосами (дамбы, золоотвалы, поля фильтрации).

Откосы могут быть:

- свободными – когда на берме не имеются дополнительной нагрузки;
- несвободными – когда имеются дополнительные нагрузки;

Крутизну временных откосов принимают по нормативным документам, во всех остальных случаях поводят расчет устойчивости откосов. Наибольшее распространение получил метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Сущность метода: отыскать наиболее опасную кривую, охватывающую берму откоса с расположенными на ней нагрузками (если они есть) и некоторую часть основания за подошвой откоса. Эта кривая должна соответствовать наименьшему коэффициенту запаса (или надежности) $K_3 \geq 1,15$

$$K_3 = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{сдв}} \quad (8)$$

где $M_{уд}$ – момент удерживающей силы.

$M_{сдв}$ - момент сдвигающей силы.

$$K_3 = \frac{E_{уд}}{E_{сдв}} \quad (9)$$

где $E_{уд}$ – удерживающая сила.

$E_{сдв}$ – сдвигающая сила.

Момент удерживающих сил $M_{уд}$ и момент сдвигающих сил $M_{сдв}$ по методу круглоцилиндрических поверхностей имеет одно и то же плечо R . В связи с этим выражение (7) можно упростить путем сокращения числителя и знаменателя на R и представить, как отношение сил удерживающих к силам сдвигающим в пределах возможной области скольжения.

Техника расчета такова. Из произвольно взятой точки O описывают дугу окружности радиусом R (рис. 21), проходящую через подошву откоса. Крутизну откоса задают в зависимости от характера грунтов; обычно принимают заложение 1; 1,25; 1,5; 2 и т. д. На вычерченной в масштабе схеме разбивают

«призму» скольжения ABC , очерченную дугой радиуса R , на ряд вертикальных отсеков.

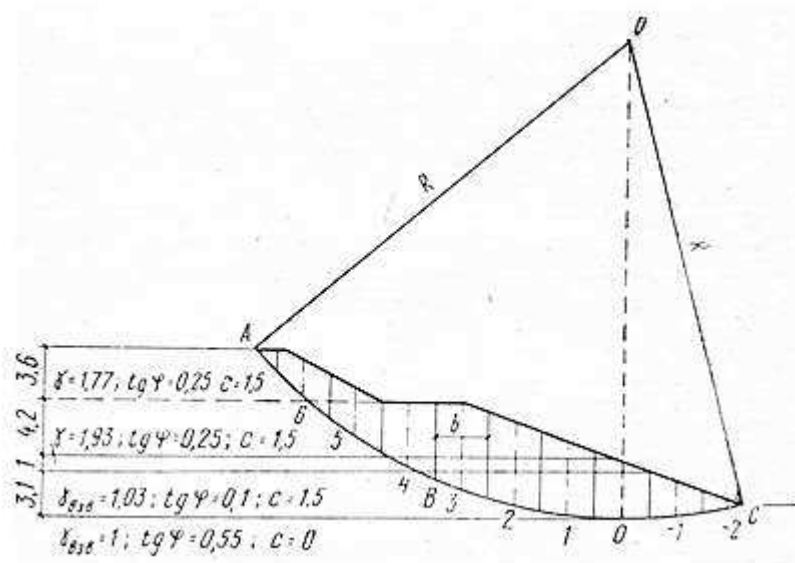


Рисунок 21 – Схема к определению устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения

Каждый отсек шириной b

$$b = \frac{R}{m}, \quad (10)$$

где m – число разбиений (обычно $m=10$, для простоты расчета).

Из точки O опускают вертикаль которую принимают за ось нулевого отсека. В остальных отсеках оси проводят как средние линии трапеции, принимая за высоту i -го отсека h_i .

Общий вес отсека

$$G_i = h_i \times \gamma_i \times b, \quad (11)$$

где G_i – общий вес отсека;
 γ_i – объемный вес грунта;
 h_i – средняя линия трапеции.

Отсеки нумеруются по порядку, начиная от нулевого. Причем, направление скольжения придает знак минус. С учетом всегда известных величин m и R находим $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$.

$$\sin \alpha = \frac{n_i}{m}, \quad (12)$$

$$\cos \alpha_i = \sqrt{1 - \left(\frac{n_i}{m}\right)^2}$$

где n_i – порядковый номер отсека.

Формула (13) приведена проф. М.М. Гришиным к виду (без учета фильтрационного давления)

$$K_3 = \frac{\left[\sum G_i \times \cos \alpha_i \times \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i \times l_i \right]}{\sum G_i \times \sin \alpha_i}, \quad (13)$$

где φ - расчетное значение угла внутреннего трения грунта,
 c_i – удельное сцепление грунта на кривой скольжения,
 l_i – длина дуги в каждом i -ом отсеке.

Как показывает опыт формулу можно упростить путем почленного деления на $b = \text{const}$.

$$K_3 = \frac{\left[\sum \gamma_i h_i \times \cos \alpha_i \times \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i \times \frac{l_i}{b} \right]}{\sum \gamma_i h_i \times \sin \alpha_i} \quad (14)$$

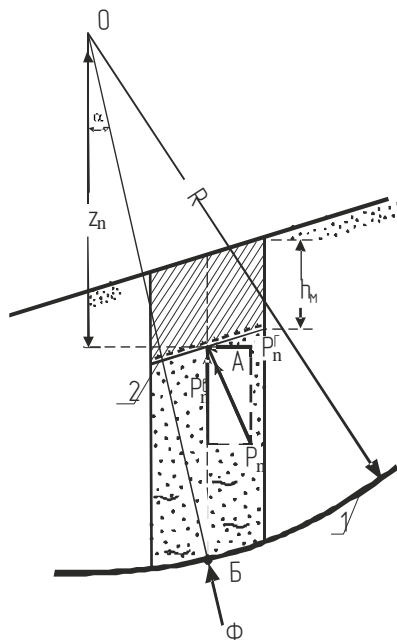
Расчет удобно проводить в табличной форме. Величины R , m , b – постоянные. Сцепление c тоже будет постоянное при однородном грунте. При наличии слоев с различными значениями c в таблице добавляются графы c_i , $c_i l_i$. Если первая попытка дает завышенный результат и $K_3 \geq 1.15$, то выбирают другой центр кривой скольжения или описывают кривую другим радиусом. Силовое воздействие фильтрационного противодействия на мерзлую водонепроницаемую корку, образующуюся на поверхности фильтрующего откоса при сезонном или многолетнем промерзании, может быть учтено по способу, дополняющему метод А.А. Ничипоровича и аналогичные ему способы расчета устойчивости при сдвиге массива обрушения по круглоцилиндрической поверхности скольжения [34].

Соответствующая формула для определения коэффициента запаса устойчивости имеет вид:

$$K = \frac{\sum [(G_n - P_n^6) \cdot \cos \alpha_n - \Phi_n] \cdot \operatorname{tg} \varphi_n + \sum C_n \cdot l_n}{\sum G_n \cdot \sin \alpha_n + \sum P_n^{\Gamma} \cdot r_n / R} \quad (7)$$

Равнодействующая сил фильтрационного противодействия P_n на рассматриваемом участке эпюры P_i приложена в точке A к нижней поверхности непроницаемого мерзлого слоя и направлена по нормали к ней, рис. 22. Горизонтальная составляющая P_n^{Γ} учитывается как дополнительное сдвигающее усилие при определении момента сдвигающих сил относительно центра вращения расчетного тела обрушения; r_n – плечо этой силы относительно центра вращения. Вертикальная составляющая P_n^B учитывается в качестве подъемной (отрывающей) силы при определении веса отсека G_n , который соответственно уменьшается на величину P_n^B . Остальные обозначения: Φ_n – равнодействующая

взвешивающего и фильтрационного давления в традиционной траптовке, действующая в объеме талого грунта n-отсека ниже кривой депрессии в зоне безнапорной фильтрации и ниже подошвы мерзлого слоя на участке напорной фильтрации; она приложена в центре подошвы отсека (в точке Б) и направлена по нормали к поверхности скольжения; $tg\varphi_n$, C_n - коэффициент внутреннего трения и сцепление на подошве расчетного отсека; l_n - длина подошвы n-отсека, определяемая по круглоцилиндрической кривой скольжения; h_M - глубина промерзания откоса; величины R - радиус кривой скольжения и α обозначены на рис. 22. В отсеках, где кривая скольжения пересекает мерзлые слои, значения φ_n , C_n принимаются в зависимости от температуры грунта в момент расчета (например, в оценке "зимней" устойчивости при максимальной мощности слоя сезонного промерзания и в оценке "весенней" устойчивости, когда под оттаявшим с поверхности водонасыщенным слоем сохраняется сравнительно тонкая водонепроницаемая мерзлая прослойка).



1 – кривая скольжения; 2 – подошва мерзлого слоя на откосе.

Рисунок 22 – Силы действующие на отсек обрушения

Для всех рассмотренных выше схем рекомендуется рассматривать наиболее опасный период работы сооружения в момент завершения сезонного оттаивания мерзлого слоя, когда полному противодействию не противостоит высокая сопротивляемость сдвигу мерзлого грунта. При определенном сочетании силовых воздействий, параметров прочности, конструктивно-технологических и фильтрационно-тепловых факторов этот кратковременный расчетный период может оказаться решающим для устойчивости массивов накопителей сложного криогенного строения (как это имело место, например, при аварии золоотвала Иркутской ТЭЦ-10).

Характер нарушения устойчивости в общем случае происходит путем образования области существенных смещений массивов грунта с появлением зоны его выпора или обрушения, полным или частичным нарушением структуры грунта, нередко последующими разрывами сплошности массива, образованием трещин, сплывов и т.д.

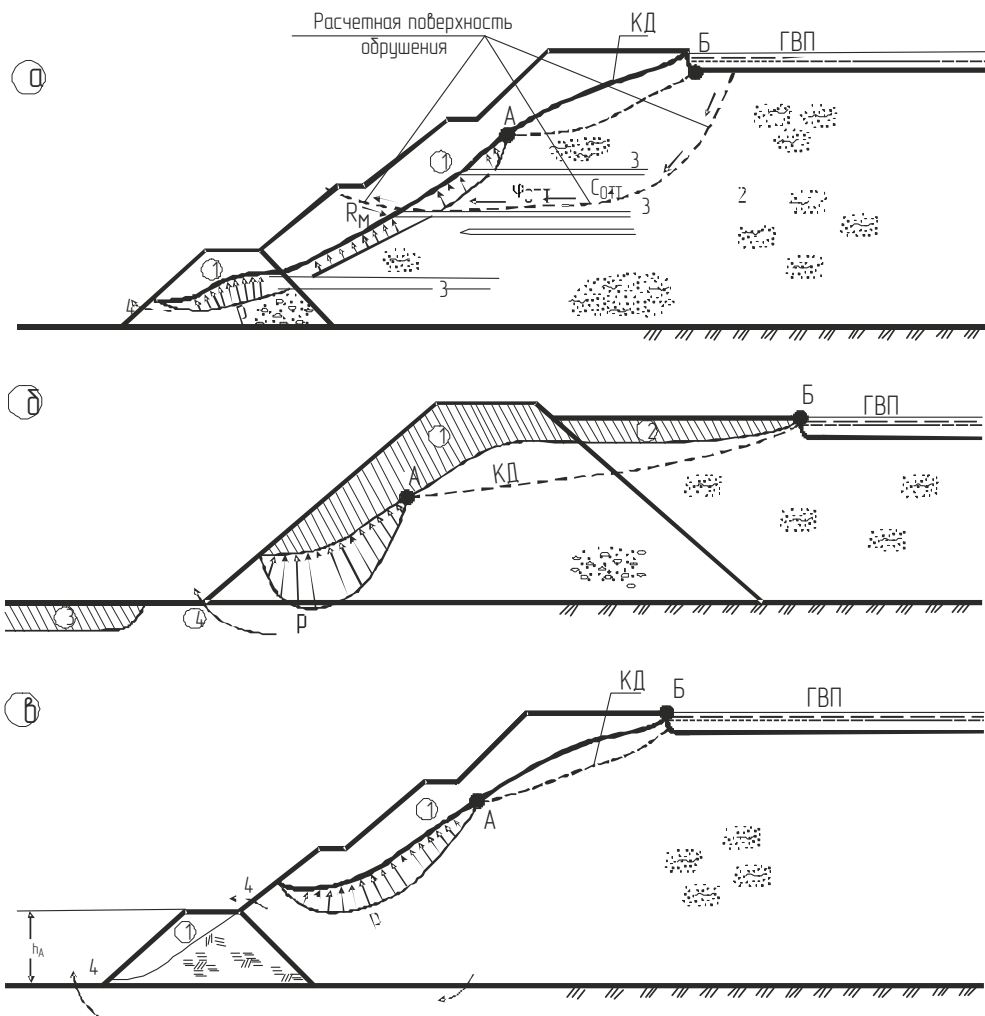
Весьма опасным случаем является длительная консервация в талом намывном массиве пластов льда и льдонасыщенных мерзлых отложений, рис. 23а. Вследствие низкой температуры фильтрующейся воды, охлаждения и промерзания низового откоса оттаивание слоя технологической мерзлоты, продолжается в течение длительного периода эксплуатации. В определенный момент времени фазовый фронт достигает поверхности льда. На этой стадии при оценке устойчивости существующих сооружений с прослойками технологической мерзлоты кровля и подошва ледяного пласта должны рассматриваться как наиболее вероятные и опасные поверхности сдвига.

Длительное оттаивание водонепроницаемых мерзлых отложений сопровождается их медленной консолидацией. Наши исследования показали, что угол внутреннего трения полностью водонасыщенных оттаивающих мелкозернистых хвостов, находящихся в начальной фазе консолидации и подстилаемых оттаивающим слоем льда, не превышает 2 градусов, а сцепление равно нулю. Прочностные характеристики золы на контакте с оттаивающим льдом могут быть еще более низкими, а поэтому при анализе фактической

устойчивости намывного массива с мерзлыми и ледяными прослойками необходимо проводить экспериментальное определение угла внутреннего трения на поверхности контакта оттаивающих намывных отложений и льда. Прочностные характеристики этой контактной зоны оказывают определяющее влияние на устойчивость массива откоса, расположенного не только над льдистым слоем, но и под ним. Определение значений угла внутреннего трения и сцепления намывного материала можно производить на приборах одноплоскостного сдвига, например, на приборе ВСВ-25, оборудованном греющим штампом. В процессе испытания необходимо выдерживать заданный температурный градиент в образце оттаивающего грунта и льда, так как эта величина существенно влияет на параметры прочности $C_{отт}$ и $\varphi_{отт}$.

При отсутствии ледяных включений оценка устойчивости промерзающих фильтрующих откосов дамб может быть выполнена для расчетных схем, приведенных на рис. 23 б, в; здесь устойчивость откоса рассматривается с учетом формирования к январю-февралю сплошного водоупорного поверхностного сезонномерзлого слоя на откосе и гребне, на пляже и в основании за пределами незамерзающего фильтрационного выхода. Участок напорной фильтрации располагается в нижней части откоса, где необходимо учитывать фильтрационное противодействие P на мерзлую корку, определяемое величиной напора h_A в точке A .

В схеме на рис. 23 б первичная дамба многоярусного гидроотвала выполнена из слабопроницаемого грунта, а поярусные дрены не предусмотрены или не работают. Основной локальный незамерзающий фильтрационный выход на откос располагается над гребнем дамбы. Напорный режим фильтрации и эпюра противодействия P_I формируются в нижней части промерзающего намывного массива.



а – при наличии ледяных включений в намывном массиве откоса; б – одноярусный накопитель; в – многоярусный накопитель. 1 – мерзлый водонепроницаемый слой, 2 – талые намывные отложения, 3 – ледяные прослойки, 4 – выход фильтрационного потока, КД – кривая депрессии на участке безнапорной фильтрации АБ, P – эпюра взвешивающего давления фильтрационного потока на напорном участке, R_m – расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по грунту, $\varphi_{отт}$, $C_{отт}$ – угол внутреннего трения и сцепление при сдвиге талого намывного грунта по поверхности ледяной прослойки, ГВП – горизонт воды в пруде.

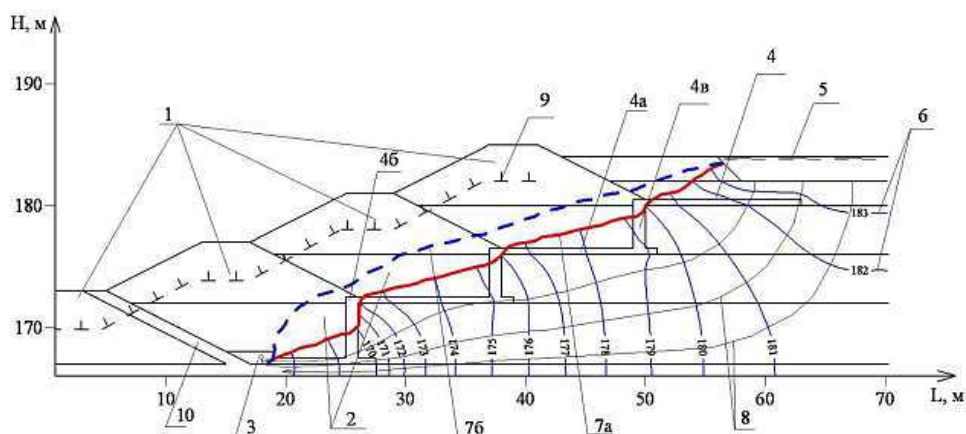
Рисунок 23 – Схемы к расчету устойчивости промерзающего откоса накопителя.

При образовании отдельных выходов фильтрационного потока на поверхность промерзающего откоса дамбы для его укрепления рекомендуется использовать локальные дренажные устройства [20].

По результатам расчета фильтрации и устойчивости было предложено перспективное техническое решение – незамерзающая дренажная система многоярусного накопителя [32].

3.5 Расчет фильтрации

Расчет проведен для оценки фильтрационного режима и устойчивости трех ярусов наращивания накопителя промышленных отходов. Дамбы выполнены высотой 5 м, по гребню 5 м, заложение откосов 1:1,5, так же учитывалось затопление прудка на глубину 0,5 м (критическая отметка заполнения), мощность основания из суглинка – 2 м, дренажные прорези шириной 1 м. Коэффициенты фильтрации взяты на основании результатов опытных испытаний (см. п. 2). Расчеты выполнены в плоско-вертикальной постановке с использованием методических разработок и программ, составленных в СибНИИГе и КГТУ и апробированных при оценке состояния аналогичных объектов, оснащенных контрольно-измерительной аппаратурой. Результат расчета фильтрации приведен на рисунке 24.



1 – первичная и вторичная дамбы ($k_f=0,03$ м/сут.), 2 – ярусы намывных отложений ($k_f=0,02$ м/сут.), 3 – основной дренаж ($k_f=45,0$ м/сут.), 4 – пространственная дренажная система (4а – продольные дренажные ленты, 4б – поперечные дренажные ленты, 4в – вертикальные дрены, $k_f=45,0$ м/сут.), 5 – отстойный пруд, 6 – эквипотенциали, 7а – кривая депрессии (предлагаемый вариант), 7б – кривая депрессии (при работе основного дренажа), 8 – линия тока, 9 – слой сезонного промерзания, 10 – противофильтрационный экран ($k_f=0,002$ м/сут.)

Рисунок 24 – Модель фильтрации

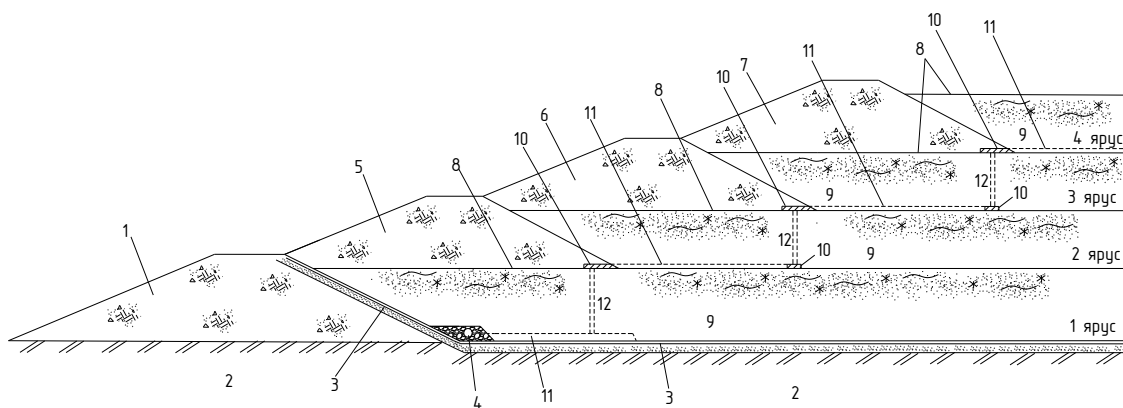
Анализ фильтрационной сетки (рис. 24), построенной для рассматриваемой модели многоярусного дренированного гидроотвала, позволяет утверждать, что предлагаемая дренажная система является достаточно эффективной. Практически весь массив поярусно наращиваемого гидроотвала находится в осушенном состоянии. Депрессионная поверхность располагается значительно ниже сезонномерзлого слоя, чем и гарантируется незамерзаемость дренажа. Принятые в нашем расчете параметры гидроотвала и его дренажной системы вполне обеспечивают его безопасную эксплуатацию при глубоком (3 м и более) промерзании внешнего откоса.

Анализ результатов расчета подтверждают корректность используемых нами программно-методических разработок [35].

3.6 Предлагаемое техническое решение по возведению многоярусного накопителя

Основными элементами многоярусного дренированного накопителя (рис.25) являются первичная дамба, образующая первый ярус, расположенный вдоль нее основной дренаж и вторичные дамбы, размещенные на пляже намыва и образующие последующие ярусы наращивания гидроотвала. Таким образом создается пространственная дренажная система, состоящая из продольных дренажных лент, уложенных вдоль вторичных дамб, поперечных дренажных лент и вертикальных дрен, соединяющих дренажные ленты друг с другом и основным дренажом.

Вертикальные дрены выполнены в виде скважин, заполненных фильтрующим материалом (например, крупным песком), или в виде сборных элементов из водопроницаемого бетона; высота вертикальных дрен равна толщине соответствующего яруса [32].



1 – первичная ограждающая дамба; 2 – основание гидроотвала; 3 – экран ложа; 4 – основной дренаж; 5,6,7 – вторичные дамбы; 8 – пляж намыва отходов; 9 – отходы; 10 – продольные дренажные ленты; 11 – поперечные дренажные ленты; 12 – вертикальные дрены

Рисунок 25 – Многоярусный накопитель с незамерзающей дренажной системой

Эффективность данной системы подтверждается результатами математического моделирования фильтрационного режима гидроотвала (см. п. 3.2).

Вывод. 1) Был произведен расчет устойчивости ограждающей дамбы без учета сейсмической активности и с учетом сейсмической активности от 4 до 9 баллов. Анализ результатов расчета устойчивости показал, что при землетрясении от 4 до 6 баллов разрушений не произойдет, но уже при землетрясении в 7 баллов начнется разрушение откосов. Для предотвращения разрушения необходимо провести мероприятия по выполаживанию.

Выполаживание откосов осуществляются с целью повышения устойчивости, предотвращения локальных разрушений и исключения вредного воздействия на окружающую среду.

Так как сейсмичность рассматриваемого района составляет 7 баллов, расчет для 7 баллов был произведен еще раз, но уже с учетом более пологого угла заложения откосов. Результат расчета показал, что мероприятия по выполаживанию можно считать эффективными, так как минимальные расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости полученные по способу весового и бокового давления равны 1.15÷1.16, сравнивая их с

допустимыми значениями $K_3 = 1,15$, получаем $K_{расч} \geq K_{дон}$, соответственно при землетрясении 7 баллов откос будет устойчив, в крайнем случае будет находиться в состоянии равновесия.

2) Произведен аналитический расчет устойчивости, по результатам которого при образовании отдельных выходов фильтрационного потока на поверхность промерзающего откоса дамбы для его укрепления рекомендуется использовать локальные дренажные устройства

3) Была построена фильтрационная сетка для рассматриваемой модели многоярусного дренированного гидроотвала, анализ которой, позволяет утверждать, что предлагаемая дренажная система является достаточно эффективной. Принятые в нашем расчете параметры гидроотвала и его дренажной системы вполне обеспечивают его безопасную эксплуатацию при глубоком (3 м и более) промерзании внешнего откоса.

4) На основании численного и аналитического расчета устойчивости, а также расчета фильтрации было предложено перспективное техническое решение – намерзающая дренажная система многоярусного накопителя, эффективность которой подтверждена расчетами.

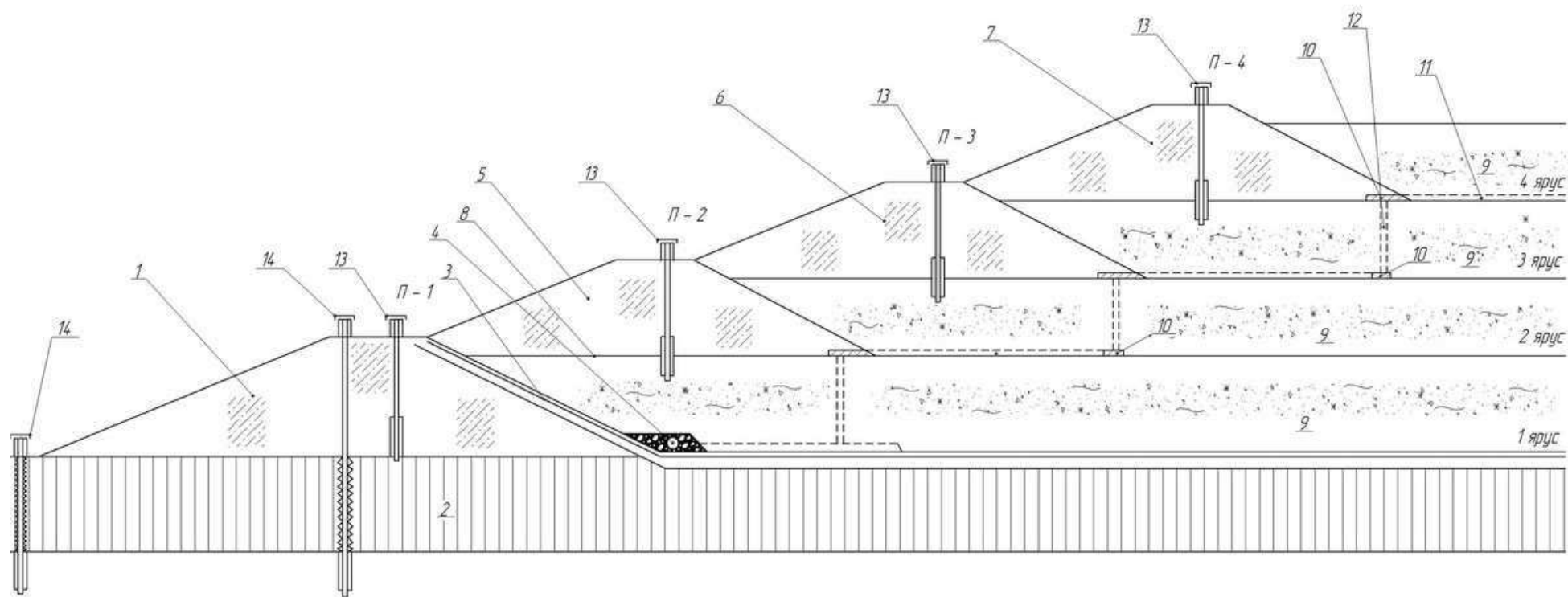
4 Рекомендации по установлению КИА и эксплуатации накопителя в суровых климатических условиях

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

Принципиальная схема оборудования пьезометрических створов для многоярусной конструкции ограждающей дамбы и характерных инженерно-геологических условий основания в условиях суровых климатических условий приведена на рисунке 26 [19].

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.

Нижний пьезометр П-0 предназначен для контроля за фильтрационным потоком в зоне высачивания; он устанавливается в нижнем бьефе у подошвы низового откоса. При расположении дренажа под низовым откосом или внутри него, 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 также на бермах низового откоса первичной дамбы.



1 – первичная дамба; 2 – дамбы наращивания; 3 – дренаж; 4 – пьезометры, контролирующие положение кривой депрессии; 5 – отстойный пруд; 6 – массив отходов; 7 – поверхностный слабопроницаемый (экранирующий) слой; 8 – кривая депрессии; 9 – напорные (глубинные) пьезометры, контролирующие напорную фильтрацию в основании

Рисунок 26 – Контрольно – измерительная аппаратура для многоярусного накопителя с незамерзающей дренажной систем

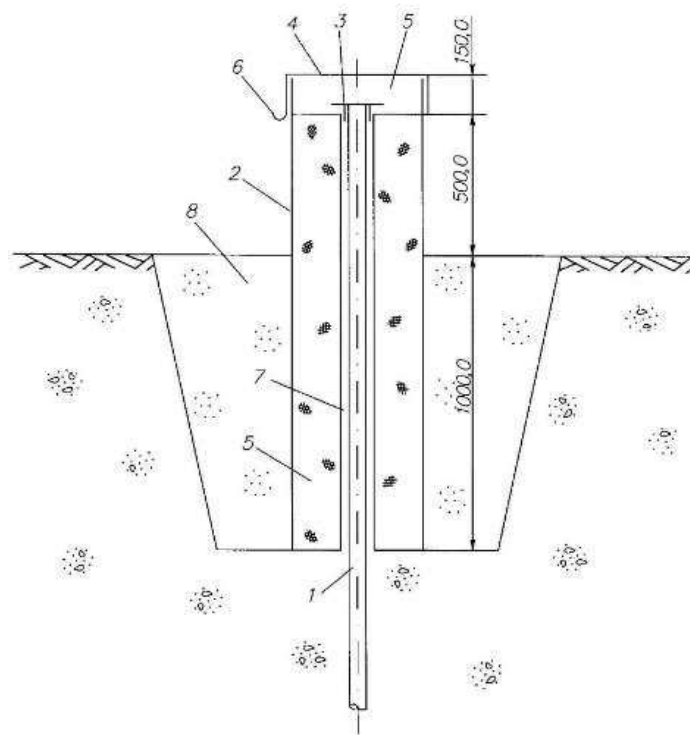
Для контроля напорной фильтрации в водопроницаемом слое основания, перекрытом поверхностным слабопроницаемым слоем глинистого грунта или противофильтрационным экраном, устанавливаются глубинные (точечные) пьезометры, водоприемники которых отделены от расположенного выше массива дамбы глиняными или инъекционными пробками, устроенными в пределах толщины экранирующего слоя [19].

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. На накопителях овражного типа при наличии водопроницаемых пород в бортовых примыканиях дамбы возможную обходную фильтрацию в них необходимо контролировать установкой дополнительных пьезометрических створов.

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 внешнюю и внутреннюю поверхность стальных труб необходимо защищать водостойкой краской или применять пластмассовые трубы. Также необходимо тщательно заполнять песком или грунтовым раствором вертикальную кольцевую полость, образуемую по периметру трубы пьезометра после извлечения обсадной (временной) трубы.

Внешняя часть пьезометров оборудуется теплозащитными оголовками (рис. 27). 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.



1 – труба пьезометра; 2 – оголовок (наружный диаметр ≥ 500 мм); 3 – крышка пьезометра с приваренной к ней рукояткой (устанавливается на резьбе со смазкой); 4 – крышка оголовка; 5 – теплоизоляция (минвата, пенопласт); 6 – скобы для замка; 7 – густая смазка, заполняющая зазор между трубой пьезометра и внутренней трубой оголовка; 8 – обратная засыпка с уплотнением.

Рисунок 27 – Съёмный защитный оголовок пьезометра

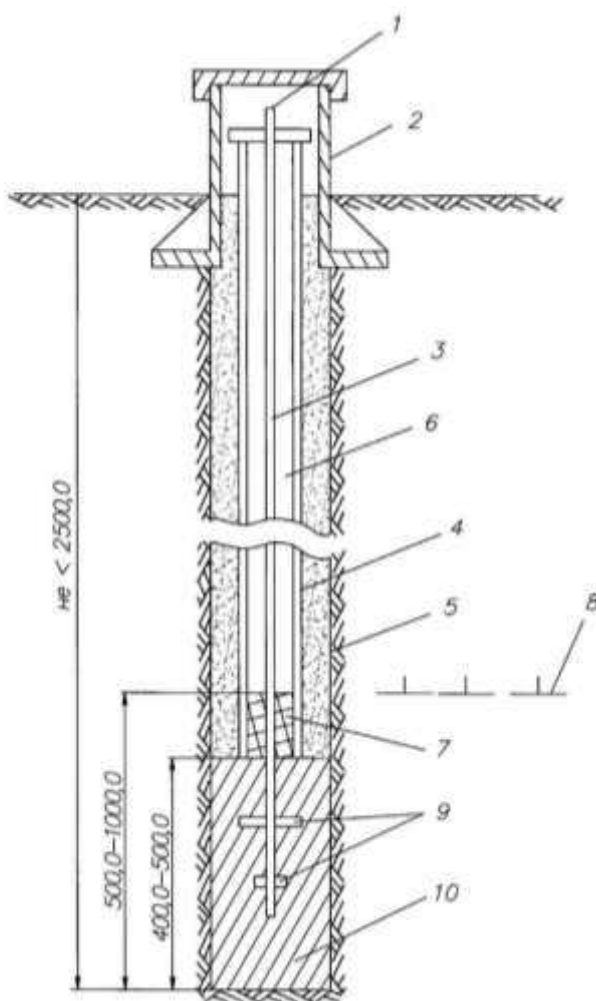
В пьезометрических створах устанавливаются поверхностные осадочные марки (рис. 28) и в дальнейшем назначаются точки для геотехконтроля при намыве пляжа из отходов или отсыпке очередного яруса [19].

На все пьезометры и осадочные марки должна быть составлена исполнительная документация, содержащая сведения о начальных координатах, отметках низа и верха труб и поверхности грунта, литологические колонки, построенные при бурении скважин, материалы исходной топографической съемки наблюдательных створов в целом, с построением полных поперечных профилей исчерпывающим образом

характеризующих фактическое исходное состояние накопителя в момент начала регулярных наблюдений. На этих профилях должны быть нанесены их

проектные контуры, в том числе (пунктиром) контуры последующих ярусов наращивания ограждающей дамбы, включая обозначения дренажных и противофильтрационных элементов.

Профили, построенные для всех наблюдательных створов, являются исходной документацией для последующей фиксации на них результатов наблюдений.



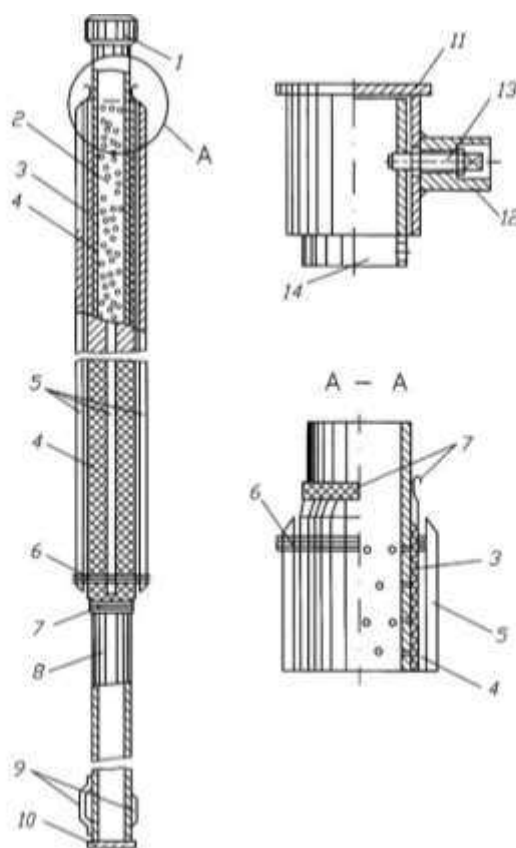
1 – оголовок марки; 2 – защитный оголовок \varnothing 200мм с крышкой; 3 – штанга марки из трубы \varnothing 25÷30 мм; 4 – защитная труба \varnothing 50÷70 мм; 5 – скважина \varnothing 180÷200 мм; 6 – смазочное масло или антифриз; 7 – пеньковый сальник; 8 – граница сезонного промерзания; 9 – поперечины; 10 – цементный раствор

Рисунок 28 – Поверхностная марка для наблюдений за осадкой

Для установки в ограждающих дамбах накопителей могут быть рекомендованы пьезометры обычного типа, а также специальные

незамерзающие жидкостные пьезометры, 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 из накопителя, т. е. оценить состояние сооружений и бортов чаши, работу дренажных и противофильтрационных устройств и территории нижнего бьефа в отношении ее подтопления и заболоченности фильтрационными водами.

Наиболее широко применяемая конструкция пьезометра приведена на рисунке 29.



- а – водоприемник; б – верхняя часть пьезометра;
 1 – муфта; 2 – перфорированная труба; 3 – пластмассовая сетка; 4 – стеклоткань;
 5 – деревянные рейки 15×15 мм (плотно прилегают к сетке 3); 6 – обвязка проволокой;
 7 – изоляционная лента; 8 – отстойник; 9 – направляющие скобы; 10 – заглушка;
 11 – крышка; 12 – замок; 13 – запирающий болт; 14 – пьезометрическая труба.

Рисунок 29 – Пьезометр с фильтром из сетки и стеклоткани

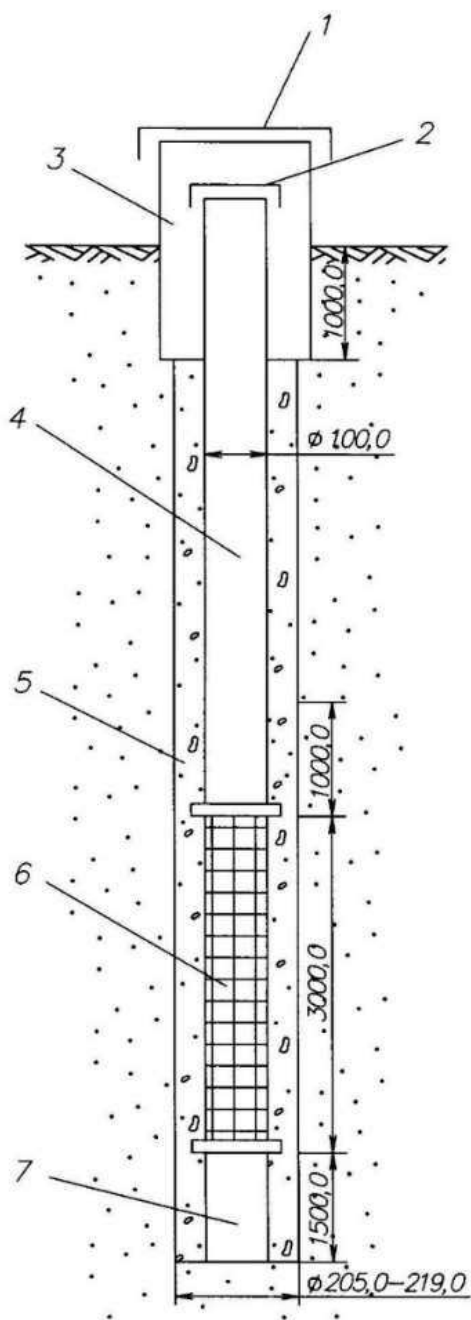
Он выполняется из стальных оцинкованных труб диаметром 50 – 75 мм. Водоприемник пьезометра представляет собой перфорированную трубу, обернутую пластмассовой гофрированной сеткой и стеклотканью. Для водоприемника применяются как металлические, так и пластмассовые трубы. Проходные отверстия диаметром 8 – 10 мм сверлятся в шахматном порядке рядами через 50 – 100 мм по длине трубы. Расстояние между отверстиями в ряду принимается 40 – 50 мм. Длина водоприемной части пьезометра зависит от его назначения, прогнозируемого положения депрессионной кривой, строения основания, в частности, мощности водопроницаемого слоя, и обычно составляет 1÷3 м.

Пьезометр в собранном виде устанавливают в скважину диаметром не менее 200 мм. Пространство между пьезометрической трубой и стенкой скважины засыпают на всю высоту водоприемника промытым крупнозернистым песком или гравием. Фильтровую засыпку делают в пределах возможного колебания депрессионной кривой, а выше и ниже обсыпки затрубное пространство заполняется пластичным глино - песчаным раствором.

На накопителях высотой до 15 м можно применять пьезометры упрощенной конструкции со спиральной обмоткой водоприемной части (рис. 30). Водопроницаемая часть трубы Ø 100 мм выполняется с круглой перфорацией (Ø отв. 10-12 мм) с шагом 20 мм в шахматном порядке и со спиральной обмоткой из нержавеющей проволоки Ø 3 мм (расстояние между витками 1-2 мм) по вертикальным стержням толщ. 5-8 мм с шагом 30 мм. Обсыпка водоприемной части выполняется фракциями гравия или щебня 0,5-10 мм.

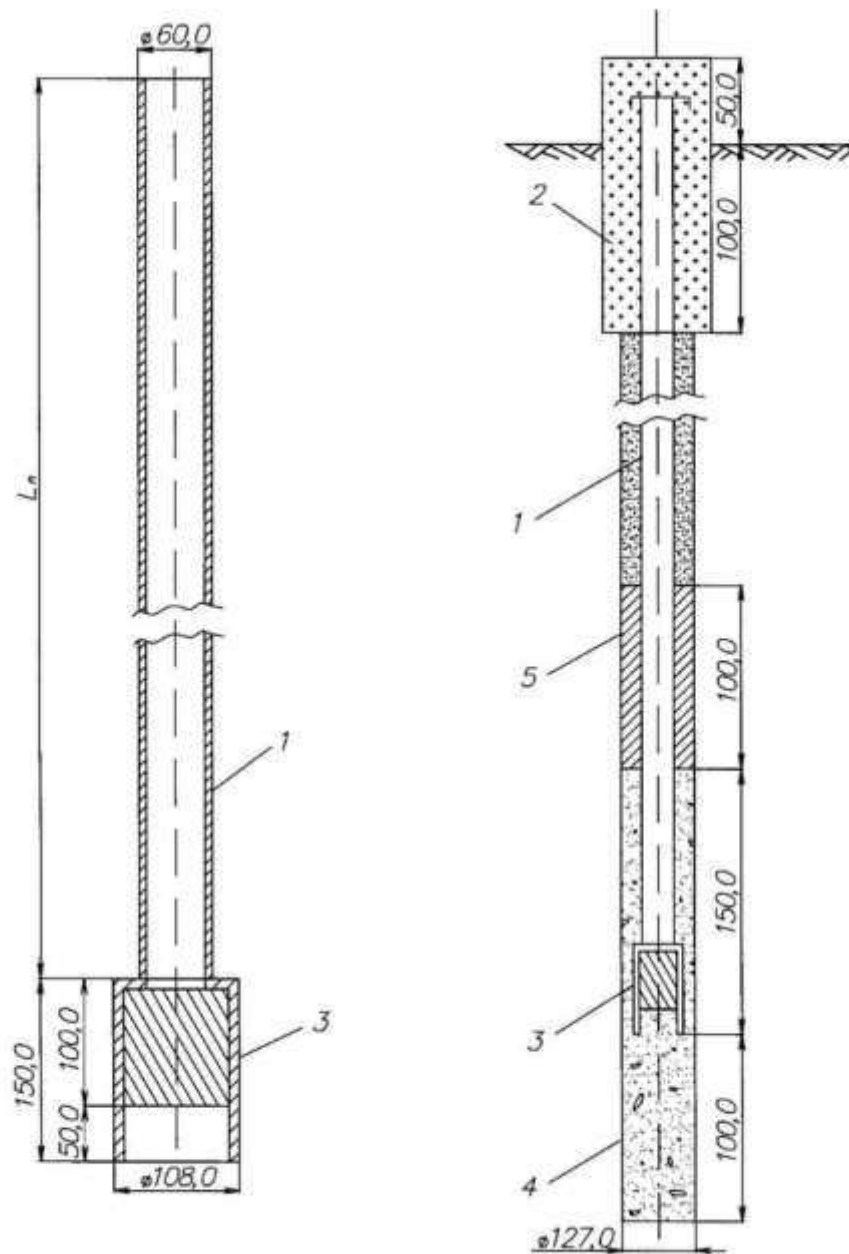
Пьезометр с фильтром из пористого бетона (рис. 31) состоит из трубы и водоприемника. Водоприемник представляет из себя стальной стакан (отрезок трубы), в котором размещен фильтр из пористого бетона. Для изготовления пористого бетона используют цемент марки 400 (500) и заполнитель из гравия (щебня) фракции 2,5 – 5 мм в соотношении 1:6. Водоцементное отношение В:Ц при этом должно быть равным 0,45. Стакан заполняют бетонной смесью на

глубину 10 см. Бетон в стакане до набора прочности твердеет в течение 7 суток под влажным укрытием.



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

Рисунок 30 – Пьезометр с проволочной обмоткой фильтра



1 – труба пьезометра; 2 – теплозащитный оголовок; 3 – фильтр из пористого бетона; 4 – водоприемная засыпка; 5 – глиняная пробка.

Рисунок 31 – Конструкция и схема установки пьезометра с пористым фильтром.

Незамерзающий пьезометр состоит из водоприемника с отстойником и пьезометрической трубы, которая выводится на поверхность сооружения и

служит для замеров положения депрессионной поверхности безнапорного фильтрационного потока (рис. 32) или напора.

Водоприемник состоит из корпуса, крышки и резиновой оболочки, расположенной внутри корпуса и заполняемой незамерзающей жидкостью (антифризом). Резиновая оболочка с внутренним диаметром 65 мм и толщиной стенки 2 мм выполняется из морозостойкой резины и служит для передачи давления фильтрационной воды в теле сооружения на жидкость внутри пьезометра.

Корпус водоприемника выполняется из металлической оцинкованной трубы диаметром 88,5 мм или пластмассовой трубы диаметром 83 мм и длиной 102 см. Труба перфорируется проходными отверстиями диаметром 10 мм, располагаемыми в шахматном порядке рядами через 20 – 40 мм по высоте.

С наружной стороны корпус водоприемника покрывается гофрированной пластмассовой сеткой и стеклотканью. Стеклоткань обеспечивает проход воды и предотвращает проникновение частиц грунта внутрь корпуса.

Торцовые концы стеклоткани наклеиваются на трубу корпуса и тщательно заделываются. Для упрочнения швов у торцовых концов стеклоткань обматывается изоляционной лентой и вязальной проволокой.

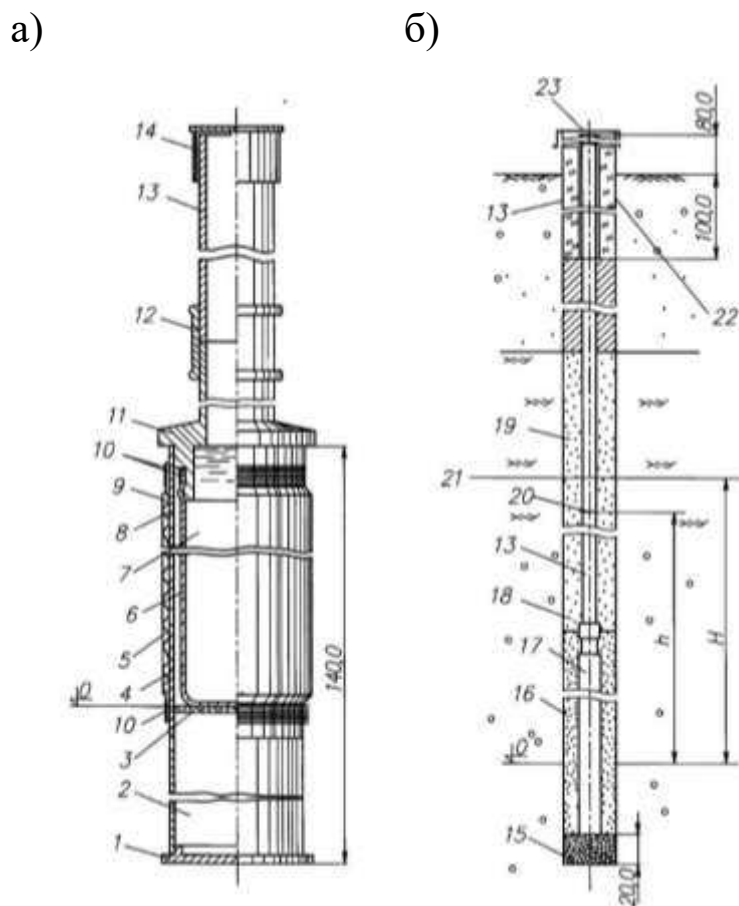
При отсутствии пластмассовой сетки на поверхность трубы корпуса наматывается медная проволока диаметром 2 – 3 мм в один ряд с зазором 0,5 – 0,7 мм.

Крышка водоприемника соединяется с корпусом при помощи резьбы. В верхней части крышки имеется патрубок длиной 50 мм и диаметром 48 мм с резьбой для соединения с пьезометрической трубой. Резиновая оболочка натягивается на нижнюю часть крышки, имеющую кольцевой выступ, и крепится с помощью медной проволоки.

В нижней части водоприемника находится отстойник, который служит для осаждения мелких частиц грунта, попавших в водоприемник. Отстойник выполняется из трубы того же диаметра, что и корпус водоприемника. Он соединяется с корпусом с помощью внутренней муфты, которая имеет

перфорированную диафрагму, через отверстия которой происходит отстой мелких частиц грунта. В нижней части отстойник закрывается заглушкой, которая крепится к трубе на резьбе.

Общая длина водоприемника и отстойника в собранном виде равняется 140 см. Все металлические части водоприемника, а также неоцинкованные трубы перед сборкой обязательно дважды покрываются снаружи и внутри антикоррозийным составом.



а) – общий вид пьезометра; б) – пьезометр после установки в скважину; 1 – днище отстойника; 2 – отстойник; 3 – внутреннее пронцаемое днище, разделяющее водоприемник и отстойник; 4 – пластмассовая сетка; 5 – стеклоткань; 6 – резиновая оболочка; 7 – незамерзающая жидкость; 8 – отверстия в корпусе водоприемника; 9 – корпус водоприемника; 10 – проволока; 11 – крышка водоприемника; 12 – соединительная муфта (стык корпуса водоприемника с основной трубой пьезометра; 13 – пьезометрическая труба; 14 – крышка пьезометра; 15 – гравийная подушка; 16 – фильтровая обсыпка; 17 – водоприемник; 18 – песчаный грунт; 19 – скважина; 20 – измеряемый уровень незамерзающей жидкости в пьезометре; 21 – кривая депрессии; 22 – теплозащитный оголовок; 23 – крышка оголовка.

Рисунок 32 – Конструкция незамерзающего пьезометра

После изготовления пьезометра проверяется герметичность соединения резиновой оболочки с крышкой.

Перед установкой водоприемник (его объем около 3,5 л) заполняется антифризом до крышки и соединяется с пьезометрической трубой. Соединение водоприемника с трубой, а также отдельных звеньев труб между собой производится на муфтах.

Пьезометр устанавливается в скважину диаметром 150 – 200 мм, пробуриваемую до необходимой отметки, при необходимости с обсадной трубой (рис. 32-б). На дно скважины отсыпается подушка из гравия толщиной 20 см с уплотнением.

В верхней части пьезометрической трубы на расстоянии 2,5 – 3 м от поверхности, на отстойнике и через 3 м по высоте прикрепляются направляющие скобы, с помощью которых обеспечивается вертикальность пьезометра. После того, как пьезометр установлен в скважину, пространство вокруг водоприемника и пьезометрической трубы засыпается крупнозернистым сухим песком.

В процессе эксплуатации пьезометра внутреннюю часть пьезометрической трубы на глубину 2 – 2,5 м следует смазывать маслом, чтобы не образовывалась ледяная пробка в результате конденсации влаги.

Величина измеряемого пьезометром напора воды зависит от объема водоприемника (количества незамерзающей жидкости в нем) и диаметра пьезометрической трубы. Поэтому необходимо предварительно установить возможную максимальную величину напора в месте расположения пьезометра с тем, чтобы можно было выбрать необходимый диаметр пьезометрической трубы. Так, например, с помощью пьезометра, имеющего объем 3,5 л, можно измерять напор до 6 м при диаметре пьезометрической трубы равном 33,5 мм и до 10 м при диаметре 26,8 мм. Увеличение объема жидкости на один литр повышает величину измеряемого напора соответственно на 2 и 3 м. Соединение водоприемника с трубами разного диаметра легко осуществляется с помощью переходных муфт.

Измерение уровня жидкости в пьезометре может производиться известными способами.

Измеряемый напор определяется по формуле:

$$H = h \frac{\rho_a}{\rho_в} \quad (15)$$

где h — высота жидкости в пьезометрической трубе;

ρ_a — плотность жидкости;

$\rho_в$ — плотность воды.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применительно к накопителям промышленных отходов разработаны и в отдельных случаях успешно применяются различные конструкции противofильтрационных устройств и дренажных систем, позволяющих регулировать тепловой и фofильтрационный режимы сооружений, обеспечивать их устойчивость и предотвращать загрязнение окружающей среды.

На данный момент большинство накопителей находится в непригодном для дальнейшей эксплуатации состоянии. В суровых климатических условиях задача поддержки нормального (безаварийного) функционирования сооружения усложняется за счет низких температур, поэтому необходимо разрабатывать прогрессивные методы для данных районов.

При устройстве гидроотвалов в районах Крайнего Севера существенно важным является защита от промерзания дренажей, находящихся в ограждающей дамбе и массиве складированных отходов. Происходящее при этом нарушение нормального фofильтрационного режима приводит к уменьшению устойчивости дамбы и гидроотвала в целом, их деформациям и разрушению.

Для определения коэффициента фofильтрации было произведено экспериментальное исследование, которое заключалось в проведении испытания золы, складированной в накопитель и грунта в основании дамбы для определения коэффициента фofильтрации. Испытание проводилось с помощью трубки Г. Н. Каменского. Средний коэффициент фofильтрации для образцов золы в серии опытов равен 0,020 м/сут. Полученный средний коэффициент фofильтрации в серии опытов с образцами суглинка равен 0,031 м/сут.

На основании полученных коэффициентов фofильтрации, была построена фofильтрационная сетка для рассматриваемой модели многоярусного дренированного гидроотвала. Принятые в расчете параметры гидроотвала и его дренажной системы вполне обеспечивают его безопасную эксплуатацию при глубоком промерзании внешнего откоса.

Гидротехнические сооружения и конструкции в процессе строительства и

эксплуатации испытывают разные по природе, характеру и продолжительности нагрузки и воздействия. Поэтому был произведен расчет устойчивости ограждающей дамбы без учета сейсмической активности и с учетом сейсмической активности от 4 до 9 баллов. Анализ результатов расчета устойчивости показал, что при землетрясении от 4 до 6 баллов разрушений не произойдет, но уже при землетрясении в 7 баллов начнется разрушение откосов. Для предотвращения разрушения необходимо провести мероприятия по выполаживанию. Так как сейсмичность рассматриваемого района составляет 7 баллов, расчет для 7 баллов был произведен еще раз, но уже с учетом более пологого угла заложения откосов. Результат расчета показал, что мероприятия по выполаживанию можно считать эффективными, так как минимальные расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости полученные по способу весового и бокового давления равны $1.15 \div 1.16$, сравнивая их с допустимыми значениями $K_z = 1,15$, получаем $K_{расч} \geq K_{доп}$, соответственно при землетрясении 7 баллов откос будет устойчив, в крайнем случае будет находиться в состоянии равновесия.

На основании расчета устойчивости и расчета фильтрации предлагаемую незамерзающую ступенчатую дренажную систему многоярусного накопителя, можно считать эффективной и продлить эксплуатацию накопителя в суровых климатических условиях как минимум на 50 лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алтунин В.И, Алтунина А.В., Черных О.Н. Некоторые аспекты мониторинга состояния грунтовых сооружений. //Вопросы мелиорации. 2005. № 1-2.
2. А. с. 1684406 СССР, МКИ 4 Е 02В 7/06. Способ возведения плотины из грунтовых материалов / Кузнецов Г. И. : опубл. 15.10.1991, Бюл. №38.
3. Визуальный контроль и оценка состояния ГТС. Библиотечка гидротехника. Безопасность ГТС, приложение к журналу ГТС. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. Вып. 3.
4. Волынов М.А., Голубкова В.А. Опыт декларирования безопасности ГТС водохранилищных гидроузлов. – М.: ВНИИГиМ, 2003.
5. Гидротехнические сооружения: учебно-методическое пособие [для студентов спец. «Водоснабжение и водоотведение»] / Сиб. федерал. ун-т ; сост. Ю. М. Гончаров. - Красноярск : СФУ, 2013. - 265 с.
6. ГОСТ 1770-74 (ИСО 1042-83, ИСО 4788-80) Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия. – Введ. 01.01.1976. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 22 с.
7. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик . – Введ. 01.04.2016. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 24 с.
8. ГОСТ 9147-80 Посуда и оборудование лабораторные фарфоровые. Технические условия. – Введ. 01.01.1982. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 22 с.
9. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – Введ. 01.07.2015. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

10. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Введ. 01.01.2012. – Москва: Стандартиформ, 2011. – 83 с.
11. ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 01.01.1975. – Москва: Стандартиформ, 1973. – 25 с.
12. ГОСТ 22733-2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – Введ. 01.01.2017. – Москва: Стандартиформ, 2019. – 16 с.
13. ГОСТ 23932-90 Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Общие технические условия. – Введ. 01.07.1991. – Москва: Стандартиформ, 2011. – 12 с.
14. ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования. – Введ. 01.07.2002. – Москва: Стандартиформ, 2007. – 8 с.
15. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. – Введ. 01.07.1982. – Москва: Стандартиформ, 1982. – 27 с.
16. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – Введ. 01.09.1990. – Москва: Стандартиформ, 2008. – 18 с.
17. Жарницкий В.Я. Качество плотин из грунтовых материалов – основа их долговечности. //Мелиорация и водное хозяйство. 2005. № 5.
18. Каган А.А., Кривоногова Н.Ф. Старение оснований гидротехнических сооружений и его инженерно-геодогическая оценка. //Гидротехническое строительство. 2004. № 11.
19. Кузнецов Г. И. Накопители промышленных отходов : учеб. пособие / Н. В. Балацкая, Д. А. Озерский. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 180 с.
20. Кузнецов Г.И. Регулирование фильтрационного потока в условиях глубокого сезонного промерзания основания бетонного водослива // Труды лаборатории гидротехнических сооружений / ВНИИ ВОДГЕО. - М.: Стройиздат, 1969, сб.5. С. 209-223.

21. Кузнецов Г.И. Рекомендации и предложения по проектированию гидротехнических сооружений на вечномёрзлых грунтах // Сборник аннотаций законченных в 1968 г. НИР по гидротехнике. -Л.: Энергия, 1969. - С. 270-271.

22. Кузнецов Г.И., Шатыгин В.А. Исследование длительной прочности и устойчивости гидротехнических сооружений из вскрышных пород на хвостохранилищах объединения Якуталмаз // Научные исследования по гидротехнике в 1975 году. -Л.: Энергия, 1976. - С 153-154.

23. Кузнецов Г.И., Заславский С.В. Комплексные исследования свойств хвостовых отложений и устойчивости новых хвостохранилищ в Айхале, Удачной и Мирном // Научные исследования по гидротехнике в 1975 году. - Л.: Энергия, 1976. - С 154-155.

24. Кузнецов Г.И., Заславский С.В., Шатыгин В.А. Исследования ограждающих дамб шламохранилищ в ЯАССР // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Выпуск 117. Гидротехника Крайнего Севера. -Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веленева, -1977, - С. 136-138.

25. Кузнецов Г.И. Особенности проектирования хвостохранилищ в Северной климатической зоне // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденева. Сборник научных трудов. Том 149. Грунтовые плотины в северной строительной климатической зоне. -Л.: Энергия, 1981. - С. 65-71.

26. Кузнецов Г.И. Криогенные процессы и устойчивость хвостохранилищ на многолетнемёрзлых основаниях // Проблемы инженерного мерзлотоведения в гидротехническом строительстве / АН СССР, Научный Совет по криологии Земли. -М.: Наука, 1986.- С. 67-75.

27. Ляпичев Ю.П. Гидрологическая и техническая безопасность гидросооружений: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 222 с.

28. Малаханов В.В. Классификация состояний и критерии эксплуатационной надёжности гидротехнических сооружений. //Гидротехническое строительство. 2000. № 1.

29. Никифорова Н. В. Односекционный накопитель мерзлого типа с внутренним бассейном загрязненных стоков / Н.В. Никифорова // Изв. вузов. Строительство. – 2001. – № 2–3. – С. 74 – 78.

30. Отходы производства и потребления [Электронный ресурс] : Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – 2018. – Режим доступа: <https://gosdoklad-ecology.ru/2018/obrashchenie-s-otkhodami-proizvodstva-i-potrebleniya/otkhody-proizvodstva-i-potrebleniya/>

31. Пат. № 2440455 РФ, МПК E02B 7/06. Гидроотвал отходов промышленных предприятий / Г.И. Кузнецов, Н.В. Балацкая, Н.С. Канаш. – № 2010135464/13, заявлено 24.08.2010; опубл. 20.01.2012, Бюл. № 2.

32. Пат. № 2504614 РФ, МПК E02B 7/06. Гидроотвал с незамерзающей дренажной системой / Кузнецов Г. И., Балацкая Н. В., Ворошилов О. А., Семушева С. М.; опубл. 20.01.2014 г.

33. ПБ 06-123-96. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых, шламовых и гидроотвальных хозяйств.

34. Плотины из местных материалов : учеб. пособие для студентов гидротехн. специальностей вузов / А. А. Ничипорович. - Москва : Стройиздат, 1973. - 320 с.

35. Рассказов Л. Н. Гидротехнические сооружения: в 2-х ч. : учебник для студентов вузов по направлению "Строительство" и спец. «Гидротехническое строительство» ред. Л. Н. Рассказов. - Москва : АСВ, 2008

36. РД 03-268-99. Порядок разработки и дополнительные требования к содержанию декларации безопасности гидротехнических сооружений на подконтрольных Госгортехнадзору России предприятиях (организациях).

37. СНиП II-89-80. Генеральные планы промышленных предприятий. М., 1990.

38. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления. М., 1990.

39. СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства. М., 1988.
40. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений. М., 1988.
41. Сысоев Ю.М., Кузнецов Г.И. Проектирование и строительство золоотвалов. -М.: Энергоатомиздат, 1990. - 249 с.
42. Шестаков В. М. Динамика подземных вод. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979 – 368 с.
43. Экологические и технологические вопросы возведения золоотвалов ТЭС. -Л.: Энергоатомиздат, 1989, - С. 21-29.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Величина $f(S/h)$

S/h	$f(S/h)$	S/h	$f(S/h)$
0,01	0,010	0,45	0,598
0,02	0,020	0,46	0,616
0,03	0,030	0,47	0,635
0,04	0,040	0,48	0,654
0,05	0,051	0,49	0,673
0,06	0,062	0,50	0,693
0,07	0,073	0,51	0,713
0,08	0,083	0,52	0,734
0,09	0,094	0,53	0,755
0,10	0,105	0,54	0,777
0,11	0,117	0,55	0,799
0,12	0,128	0,56	0,821
0,13	0,139	0,57	0,844
0,14	0,151	0,58	0,868
0,15	0,163	0,59	0,892
0,16	0,174	0,60	0,916
0,17	0,186	0,61	0,941
0,18	0,198	0,62	0,967
0,19	0,210	0,63	0,994
0,20	0,223	0,64	1,022
0,21	0,236	0,65	1,050
0,22	0,248	0,66	1,079
0,23	0,261	0,67	1,109
0,24	0,274	0,68	1,140
0,25	0,288	0,69	1,172
0,26	0,301	0,70	1,204
0,27	0,315	0,71	1,238
0,28	0,329	0,72	1,273
0,29	0,343	0,73	1,309
0,30	0,357	0,74	1,347
0,31	0,371	0,75	1,386
0,32	0,385	0,76	1,427
0,33	0,400	0,77	1,470
0,34	0,416	0,78	1,514
0,35	0,431	0,79	1,561
0,36	0,446	0,80	1,609
0,37	0,462	0,81	1,661
0,38	0,478	0,82	1,715
0,39	0,494	0,83	1,771
0,40	0,510	0,84	1,833
0,41	0,527	0,85	1,897
0,42	0,545	0,86	1,966
0,43	0,562	0,87	2,040
0,44	0,580	0,88	2,120

Окончание приложения А

0,89	2,207	0,94	2,813
0,90	2,303	0,95	2,996
0,91	2,408	0,96	3,219
0,92	2,526	0,97	3,507
0,93	2,659	0,98	3,912

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Поправки (ТП) по Пуазейлю для различных температур

<i>T</i> , °C	<i>ТП</i>
10,0	1,36
10,5	1,38
11,0	1,40
11,5	1,42
12,0	1,44
12,5	1,46
13,0	1,48
13,5	1,50
14,0	1,52
14,5	1,54
15,0	1,56
15,5	1,58
16,0	1,60
16,5	1,62
17,0	1,64
17,5	1,66
18,0	1,68
18,5	1,70
19,0	1,72
19,5	1,74
20,0	1,76
20,5	1,78
21,0	1,80
21,5	1,82
22,0	1,84
22,5	1,86
23,0	1,88
24,0	1,92
25,0	1,96
26,0	2,00
27,0	2,04
28,0	2,08

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 4 балла

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОВР-СИВФИЛИАЛ ВНИИГ; ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92; 22ХЛИСТ- 3
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия ФЭ17-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ ПРИНЯТЫ ПО ЗАДАНИЮ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НОМЕР 5

КОординАТЫ		КОординАТЫ ТОЧЕК ВЫХОДА				КОЭФФИЦИЕНТЫ												
ЦЕНТРА КРИВОЙ		КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ												
						БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ				С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ								
						МЕТОД МОМЕНТОВ		МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ		МЕТОД МОМЕНТОВ		МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ						
X	Y	R	X	Y	X	Y	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-				
							СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-				
							ТЕР-	ВЕС-	БОК-	ТЕР-	ВЕС-	БОК-	ТЕР-	ВЕС-				
							ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.				
33.01:	12.16:	5.46:	27.70:	10.90:	34.55:	6.92:	1.110:	1.223:	1.300:	1.235:	1.338:	1.399:	1.110:	1.223:	1.300:	1.235:	1.338:	1.399:
35.41:	13.10:	10.14:	25.51:	10.90:	39.72:	3.92:	1.622:	1.725:	1.774:	1.675:	1.766:	1.797:	1.622:	1.725:	1.774:	1.675:	1.766:	1.797:
38.22:	8.10:	4.76:	33.50:	7.53:	40.45:	3.90:	1.896:	1.997:	1.015:	1.982:	1.068:	1.068:	1.896:	1.997:	1.015:	1.982:	1.068:	1.068:
36.87:	9.49:	6.64:	30.23:	9.43:	40.45:	3.90:	1.695:	1.802:	1.857:	1.740:	1.827:	1.844:	1.695:	1.802:	1.857:	1.740:	1.827:	1.844:

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 197

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОВР-СИВФИЛИАЛ ВНИИГ; ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92; 22ХЛИСТ- 4
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия ФЭ17-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ НАЙДЕНЫ АВТОМАТИЧЕСКИ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НОМЕР 5

КОординАТЫ		КОординАТЫ ТОЧЕК ВЫХОДА				КОЭФФИЦИЕНТЫ												
ЦЕНТРА КРИВОЙ		КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ												
						БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ				С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ								
						МЕТОД МОМЕНТОВ		МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ		МЕТОД МОМЕНТОВ		МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ						
X	Y	R	X	Y	X	Y	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-				
							СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-	СОВ-				
							ТЕР-	ВЕС-	БОК-	ТЕР-	ВЕС-	БОК-	ТЕР-	ВЕС-				
							ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.				
35.97:	11.27:	8.28:	27.70:	10.90:	39.75:	3.90:	1.641:	1.752:	1.822:	1.696:	1.788:	1.822:	1.641:	1.752:	1.822:	1.696:	1.788:	1.822:
35.40:	11.86:	9.07:	26.39:	10.90:	39.75:	3.90:	1.616:	1.725:	1.786:	1.674:	1.768:	1.800:	1.616:	1.725:	1.786:	1.674:	1.768:	1.800:
37.44:	16.03:	12.90:	25.60:	10.90:	41.85:	3.90:	1.675:	1.768:	1.806:	1.720:	1.804:	1.832:	1.675:	1.768:	1.806:	1.720:	1.804:	1.832:
35.08:	13.23:	11.13:	24.20:	10.90:	41.15:	3.90:	1.624:	1.727:	1.764:	1.677:	1.767:	1.787:	1.624:	1.727:	1.764:	1.677:	1.767:	1.787:
34.98:	12.72:	13.05:	22.10:	10.62:	44.60:	3.90:	1.466:	1.579:	1.592:	1.468:	1.564:	1.560:	1.466:	1.579:	1.592:	1.468:	1.564:	1.560:
35.65:	10.90:	11.36:	24.28:	10.90:	44.60:	3.90:	1.437:	1.569:	1.593:	1.423:	1.522:	1.522:	1.437:	1.569:	1.593:	1.423:	1.522:	1.522:

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 896

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 5 баллов

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОБР-СИБФИЛИАЛ ВНИИГ: ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92; 22ХЛИСТ- 3
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия #317-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ ПРИНЯТЫ ПО ЗАДАНИЮ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФИЦИЕНТУ НОМЕР 1

КОординАТЫ		КОординАТЫ ТОЧЕК ВЫХОДА		КОЭФИЦИЕНТЫ														
ЦЕНТРА КРИВОЙ		КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ		ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ														
				БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ								
				МЕТОД МОМЕНТОВ			МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ			МЕТОД МОМЕНТОВ			МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ					
X	Y	R	X	Y	X	Y	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-		
							СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ		
							ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-		
							ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ		
33.01:	12.16:	5.46:	27.70:	10.90:	34.55:	6.92:	1.110:	1.223:	1.300:	1.235:	1.338:	1.399:	1.072:	1.182:	1.256:	1.187:	1.286:	1.346:
35.04:	11.56:	8.56:	26.51:	10.90:	39.33:	4.15:	.627:	1.740:	1.807:	1.690:	1.787:	1.822:	1.600:	1.709:	1.774:	1.657:	1.749:	1.783:
38.22:	8.10:	4.76:	33.50:	7.53:	40.45:	3.90:	.896:	1.997:	1.015:	1.982:	1.068:	1.068:	1.862:	1.960:	1.977:	1.942:	1.025:	1.024:
36.87:	9.49:	6.64:	30.23:	9.43:	40.45:	3.90:	.695:	1.802:	1.857:	1.740:	1.827:	1.844:	1.666:	1.769:	1.823:	1.707:	1.790:	1.806:

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 182

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОБР-СИБФИЛИАЛ ВНИИГ: ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92; 22ХЛИСТ- 4
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия #317-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ НАЙДЕНЫ АВТОМАТИЧЕСКИ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФИЦИЕНТУ НОМЕР 1

КОординАТЫ		КОординАТЫ ТОЧЕК ВЫХОДА		КОЭФИЦИЕНТЫ														
ЦЕНТРА КРИВОЙ		КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ		ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ														
				БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ								
				МЕТОД МОМЕНТОВ			МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ			МЕТОД МОМЕНТОВ			МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ					
X	Y	R	X	Y	X	Y	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-		
							СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ	СОБ		
							ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-		
							ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ		
35.97:	11.27:	8.28:	27.70:	10.90:	39.75:	3.90:	1.641:	1.752:	1.822:	1.696:	1.788:	1.822:	1.615:	1.722:	1.789:	1.664:	1.753:	1.785:
35.40:	11.86:	9.07:	26.39:	10.90:	39.75:	3.90:	1.616:	1.725:	1.786:	1.674:	1.768:	1.800:	1.589:	1.695:	1.753:	1.642:	1.731:	1.762:
37.44:	16.03:	12.90:	25.60:	10.90:	41.85:	3.90:	1.675:	1.768:	1.806:	1.720:	1.804:	1.832:	1.648:	1.738:	1.774:	1.689:	1.770:	1.797:
35.09:	11.70:	9.88:	25.25:	10.90:	41.15:	3.90:	1.616:	1.727:	1.776:	1.673:	1.767:	1.787:	1.588:	1.694:	1.741:	1.639:	1.728:	1.747:
34.98:	12.72:	13.05:	22.10:	10.62:	44.60:	3.90:	1.466:	1.579:	1.592:	1.468:	1.564:	1.560:	1.440:	1.547:	1.559:	1.440:	1.531:	1.527:
35.29:	11.12:	11.52:	23.78:	10.90:	44.26:	3.90:	1.437:	1.556:	1.585:	1.425:	1.523:	1.522:	1.413:	1.526:	1.554:	1.400:	1.493:	1.492:

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 896

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 6 баллов

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОБР-СИБФИЛИАЛ ВНИИП: ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92; 22ХЛИСТ- 3
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия Ф317-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ ПРИНЯТЫ ПО ЗАДАНИЮ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НОМЕР 5

КОординаты								КОординаты точек выхода								КОэффициенты							
ЦЕНТРА КРИВОЙ				КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ							
БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ								С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ															
МЕТОД МОМЕНТОВ				МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ				МЕТОД МОМЕНТОВ				МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ											
X	Y	R	X	Y	X	Y	X	Y	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-					
									СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ					
									ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-					
									ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ					
33.01	12.16	5.46	27.70	10.90	34.55	6.92	1.110	1.223	1.300	1.235	1.338	1.399	1.072	1.182	1.256	1.187	1.286	1.346					
35.41	13.10	10.14	25.51	10.90	39.72	3.92	1.622	1.725	1.774	1.675	1.766	1.797	1.595	1.695	1.742	1.643	1.730	1.760					
38.22	8.10	4.76	33.50	7.53	40.45	3.90	1.896	1.997	1.015	1.982	1.068	1.068	1.862	1.960	1.977	1.942	1.025	1.024					
36.87	9.49	6.64	30.23	9.43	40.45	3.90	1.695	1.802	1.857	1.740	1.827	1.844	1.666	1.769	1.823	1.707	1.790	1.806					

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 197

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОБР-СИБФИЛИАЛ ВНИИП: ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92; 22ХЛИСТ- 4
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия Ф317-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ НАЙДЕНЫ АВТОМАТИЧЕСКИ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НОМЕР 5

КОординаты								КОординаты точек выхода								КОэффициенты							
ЦЕНТРА КРИВОЙ				КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ							
БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ								С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ															
МЕТОД МОМЕНТОВ				МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ				МЕТОД МОМЕНТОВ				МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ											
X	Y	R	X	Y	X	Y	X	Y	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-					
									СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ					
									ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-					
									ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ					
35.97	11.27	8.28	27.70	10.90	39.75	3.90	1.641	1.752	1.822	1.696	1.788	1.822	1.615	1.722	1.789	1.664	1.753	1.785					
35.40	11.86	9.07	26.39	10.90	39.75	3.90	1.616	1.725	1.786	1.674	1.768	1.800	1.589	1.695	1.753	1.642	1.731	1.762					
37.44	16.03	12.90	25.60	10.90	41.85	3.90	1.675	1.768	1.806	1.720	1.804	1.832	1.648	1.738	1.774	1.689	1.770	1.797					
35.08	13.23	11.13	24.20	10.90	41.15	3.90	1.624	1.727	1.764	1.677	1.767	1.787	1.595	1.694	1.730	1.643	1.728	1.747					
34.98	12.72	13.05	22.10	10.62	44.60	3.90	1.466	1.579	1.592	1.468	1.564	1.560	1.440	1.547	1.559	1.440	1.531	1.527					
35.65	10.90	11.36	24.28	10.90	44.60	3.90	1.437	1.559	1.593	1.423	1.522	1.522	1.413	1.529	1.561	1.398	1.492	1.492					

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 896

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы с учетом сейсмических сил 7 баллов

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОБР-СИВФИЛИАЛ ВНИИГ:ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92;22ХЛИСТ- 3
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия #317-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ ПРИНЯТЫ ПО ЗАДАНИЮ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НОМЕР 5

КОординАТЫ		КОординАТЫ ТОЧЕК ВЫХОДА				КОЭФФИЦИЕНТЫ												
ЦЕНТРА КРИВОИ		КРИВОИ НА ПОВЕРХНОСТЬ				ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ												
						БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						
						МЕТОД МОМЕНТОВ			МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ			МЕТОД МОМЕНТОВ			МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ			
X	Y	R	X	Y	X	Y												
							СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-
							СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ
							ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.
							ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.
33.01	12.16	5.46	27.70	10.90	34.55	6.92	1.110	1.223	1.300	1.235	1.338	1.399	1.036	1.143	1.215	1.142	1.238	1.295
35.41	13.10	10.14	25.51	10.90	39.72	3.92	.622	.725	.774	.675	.766	.797	.570	.666	.712	.614	.697	.726
38.22	8.10	4.76	33.50	7.53	40.45	3.90	.896	.997	1.015	.982	1.068	1.068	.830	.925	.941	.905	.984	.984
36.87	9.49	6.64	30.23	9.43	40.45	3.90	.695	.802	.857	.740	.827	.844	.639	.739	.791	.676	.756	.771

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 197

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОБР-СИВФИЛИАЛ ВНИИГ:ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92;22ХЛИСТ- 4
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия #317-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ НАЙДЕНЫ АВТОМАТИЧЕСКИ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НОМЕР 5

КОординАТЫ		КОординАТЫ ТОЧЕК ВЫХОДА				КОЭФФИЦИЕНТЫ												
ЦЕНТРА КРИВОИ		КРИВОИ НА ПОВЕРХНОСТЬ				ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ												
						БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						
						МЕТОД МОМЕНТОВ			МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ			МЕТОД МОМЕНТОВ			МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ			
X	Y	R	X	Y	X	Y												
							СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-
							СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ
							ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.
							ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.
35.97	11.27	8.28	27.70	10.90	39.75	3.90	.641	.752	.822	.696	.788	.822	.590	.694	.759	.634	.720	.750
35.40	11.86	9.07	26.39	10.90	39.75	3.90	.616	.725	.786	.674	.768	.800	.565	.667	.723	.612	.698	.728
37.44	16.03	12.90	25.60	10.90	41.85	3.90	.675	.768	.806	.720	.804	.832	.623	.710	.745	.661	.739	.765
35.08	13.23	11.13	24.20	10.90	41.15	3.90	.624	.727	.764	.677	.767	.787	.569	.663	.698	.612	.693	.711
34.98	12.72	13.05	22.10	10.62	44.60	3.90	.466	.579	.592	.468	.564	.560	.416	.518	.530	.415	.501	.497
35.65	10.90	11.36	24.28	10.90	44.60	3.90	.437	.559	.593	.423	.522	.522	.391	.502	.533	.376	.465	.465

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 896

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Результат расчета устойчивости откоса ограждающей дамбы для 7 баллов с учетом выполаживания откоса

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОБР-СИБФИЛИАЛ ВНИИГ; ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92; 22ХЛИСТ- 3
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия ф317-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ ПРИНЯТЫ ПО ЗАДАНИЮ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФИЦИЕНТУ НОМЕР 1

КОординАТЫ		КОординАТЫ ТОЧЕК ВЫХОДА				КОЭФИЦИЕНТЫ												
ЦЕНТРА КРИВОЙ		КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ												
						БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						
						МЕТОД МОМЕНТОВ		МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ		МЕТОД МОМЕНТОВ		МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ						
X	Y	R	X	Y	X	Y	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-		
							СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ		
							ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-		
							ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ		
35.14:	14.31:	8.18:	27.70:	10.90:	38.50:	6.85:	1.278:	1.383:	1.439:	1.412:	1.512:	1.562:	1.839:	1.911:	1.948:	1.888:	1.953:	1.986:
37.54:	13.60:	11.82:	26.03:	10.90:	44.98:	4.42:	1.773:	1.894:	1.932:	1.853:	1.962:	1.980:	1.470:	1.547:	1.572:	1.493:	1.560:	1.571:
43.32:	10.39:	7.37:	36.50:	7.60:	47.00:	4.00:	1.189:	1.283:	1.274:	1.305:	1.390:	1.378:	1.766:	1.830:	1.824:	1.821:	1.877:	1.869:
41.54:	8.58:	7.20:	34.34:	8.41:	47.09:	4.00:	1.945:	1.073:	1.082:	1.967:	1.068:	1.051:	1.579:	1.661:	1.667:	1.588:	1.651:	1.641:

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 220

ПРОГРАММА УСТОИ1: КАЗМЕХАНОБР-СИБФИЛИАЛ ВНИИГ; ВЕРСИЯ 2 ОТ 04.03.92; 22ХЛИСТ- 4
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА.

Сас Валерия ф317-07М
ИСХОДНЫЕ КРИВЫЕ НАЙДЕНЫ АВТОМАТИЧЕСКИ.
ПОИСК МИНИМУМА ВЕДЕТСЯ ПО КОЭФИЦИЕНТУ НОМЕР 1

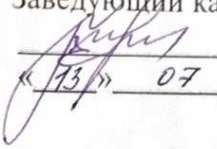
КОординАТЫ		КОординАТЫ ТОЧЕК ВЫХОДА				КОЭФИЦИЕНТЫ												
ЦЕНТРА КРИВОЙ		КРИВОЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ				ЗАПАС УСТОЙЧИВОСТИ												
						БЕЗ УЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ						
						МЕТОД МОМЕНТОВ		МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ		МЕТОД МОМЕНТОВ		МЕТОД ГОРИЗ. СИЛ						
X	Y	R	X	Y	X	Y	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-	СПО-		
							СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ	СОВ		
							ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-	ВЕС.	БОК.	ТЕР-		
							ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ	ДАВЛ.	ДАВЛ.	ЦАГИ		
38.57:	11.89:	10.91:	27.70:	10.90:	46.10:	4.00:	1.793:	1.922:	1.963:	1.859:	1.970:	1.980:	1.481:	1.564:	1.590:	1.501:	1.568:	1.574:
38.43:	12.55:	11.54:	27.01:	10.90:	46.19:	4.00:	1.772:	1.899:	1.937:	1.843:	1.953:	1.964:	1.469:	1.550:	1.575:	1.491:	1.557:	1.565:
35.28:	12.45:	7.74:	27.70:	10.90:	39.97:	6.30:	1.002:	1.158:	1.211:	1.162:	1.293:	1.346:	1.615:	1.703:	1.749:	1.659:	1.736:	1.768:
38.07:	13.02:	11.94:	26.32:	10.90:	45.96:	4.05:	1.765:	1.889:	1.925:	1.838:	1.948:	1.960:	1.463:	1.543:	1.565:	1.486:	1.552:	1.559:
41.24:	9.71:	7.50:	33.83:	8.60:	46.10:	4.00:	1.939:	1.154:	1.187:	1.994:	1.189:	1.183:	1.586:	1.661:	1.669:	1.608:	1.668:	1.664:
40.12:	10.50:	8.87:	31.30:	9.55:	46.16:	4.00:	1.851:	1.173:	1.171:	1.898:	1.165:	1.162:	1.523:	1.602:	1.620:	1.538:	1.602:	1.603:
37.86:	10.01:	6.50:	31.38:	9.52:	42.42:	5.38:	1.936:	1.150:	1.148:	1.036:	1.166:	1.252:	1.566:	1.657:	1.700:	1.587:	1.663:	1.683:
37.59:	12.85:	10.94:	26.83:	10.90:	44.70:	4.53:	1.780:	1.507:	1.951:	1.864:	1.977:	1.998:	1.475:	1.556:	1.584:	1.499:	1.567:	1.579:
40.86:	20.38:	17.94:	25.63:	10.90:	48.17:	4.00:	1.848:	1.173:	1.954:	1.897:	1.975:	1.991:	1.538:	1.595:	1.609:	1.556:	1.607:	1.617:
42.54:	9.42:	10.87:	31.67:	9.41:	51.96:	4.00:	1.346:	1.477:	1.495:	1.271:	1.367:	1.356:	1.193:	1.273:	1.284:	1.151:	1.209:	1.203:
38.68:	15.20:	17.11:	22.18:	10.66:	51.62:	4.00:	1.299:	1.403:	1.410:	1.267:	1.353:	1.350:	1.167:	1.232:	1.236:	1.146:	1.198:	1.196:
36.07:	9.73:	16.57:	19.51:	9.16:	51.62:	4.00:	1.063:	1.176:	1.169:	1.164:	1.162:	1.258:	1.031:	1.165:	1.160:	1.018:	1.035:	1.232:

КОЛИЧЕСТВО РАССЧИТАННЫХ КРИВЫХ- 547

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «ИЭиБЖД»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ИЭиБЖД

 Т.А. Кулагина

«13/» 07 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Обоснование безопасной эксплуатации накопителей промышленных отходов в
суровых климатических условиях

20.04.01 «Техносферная безопасность»

20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»


Научный руководитель


9.07.19г.
подпись, дата

доцент, канд. техн. наук

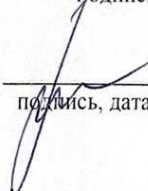
Н. В. Крук

Выпускник


9.07.19г.
подпись, дата

В. А. Саз

Рецензент


13.07.19г.
подпись, дата

доцент, канд. техн. наук

И. В. Варфоломеев

Красноярск 2019