

**СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

На правах рукописи

ОГАНЕСЯН ЭМИЛ ХАЧАТУРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
СОСТАВА И СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ ПРИ
ФОРМИРОВАНИИ НАМЫВНОГО МАССИВА**

Специальность 1.6.7.

«Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор Лолаев А.Б.

ВЛАДИКАВКАЗ 2022

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| Введение | 5 |
| ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ, ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАМЫВНЫХ МАССИВОВ | 10 |
| 1.1 Способы и технологии, применяемые при строительстве и эксплуатации намывных массивов..... | 10 |
| 1.2 Факторы, определяющие устойчивость и промышленную безопасность хвостохранилищ | 16 |
| 1.3 Объект исследований и его характеристика | 19 |
| 1.3.1 Общие сведения о хвостохранилище..... | 19 |
| 1.3.2 Инженерно-геологические условия | 20 |
| 1.3.3 Геологическое строение | 24 |
| 1.3.4 Геокриологические условия..... | 25 |
| 1.3.5 Физико-механические свойства грунтов | 26 |
| 1.4 Цель и задачи исследований | 27 |
| ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НАМЫВНЫХ МАССИВОВ | 29 |
| 2.1 Общая постановка задачи управления устойчивостью, промышленной и экологической безопасностью, факторы управления и их характеристики..... | 29 |
| 2.2 Комплексные исследования состава, структуры и свойств техногенных грунтов..... | 30 |
| 2.2.1 Методика, состав и материалы исследований | 30 |
| 2.2.2 Исследование физико-механических свойств хвостов | 31 |
| 2.3 Теоретические предпосылки составления прогностических моделей для оценки устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища | 36 |
| 2.3.1 Методика построения моделей в нечеткой среде..... | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4 Оценка устойчивости математическими методами..... | 41 |
| 2.4.1 Коэффициент запаса устойчивости..... | 42 |
| 2.4.2 Расчеты устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения | 45 |
| Выводы по главе 2..... | 46 |
| ГЛАВА.3 ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ НАМЫВА С РАСЧЕТАМИ УСТОЙЧИВОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА..... | 48 |
| 3.1 Определение типа микроструктуры и структурной модели хвостов | 48 |
| 3.2 Физические и физико-химические свойства намывных грунтов..... | 50 |
| 3.3 Физико-математическое моделирование процесса намыва хвостохранилища | 51 |
| 3.3.1 Расчет устойчивости техногенного массива | 53 |
| 3.4 Обоснование физической модели для изучения технологии намыва ограждающей дамбы | 56 |
| 3.5 Принцип построения и критерии подобия физической модели | 57 |
| 3.6 Конструкция установки для моделирования технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища | 60 |
| 3.7 Лабораторные испытания для моделирования технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища | 63 |
| 3.8 Моделирование устойчивости ограждающей дамбы..... | 73 |
| Выводы по главе 3..... | 78 |
| ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА «№2» ЗФ ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ»..... | 80 |
| 4.1 Разработка Программы и проведение натурных наблюдений намыва дамбы хвостохранилища | 80 |
| 4.1.1 Методика исследований | 80 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.2 Оборудование экспериментальных участков | 83 |
| для проведения испытаний для разработки оптимального способа намыва хвостохранилища..... | 87 |
| 4.1.3 Натурные наблюдения намыва ограждающей дамбы хвостохранилища | 87 |
| 4.2 Оценка экологической и промышленной безопасности существующего состояния сооружения | 102 |
| 4.3 Техничко-экономическая оценка рыночного потенциала эффективности внедрения системы расчетного мониторинга..... | 106 |
| 4.3.1 Техничко-экономическая оценка рыночного потенциала эффективности совершенствования технологических параметров намыва ограждающей дамбы хвостохранилища | 109 |
| Выводы по главе 4..... | 111 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 113 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 115 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Поскольку современные технологии обогащения полезных ископаемых не гарантируют полного извлечения в руду полезных компонентов как по номенклатуре, так и по основному компоненту, образующиеся хвосты необходимо складировать с замедленной переработкой, в результате чего образуются техногенные массивы, являющиеся опасными производственными объектами и источниками воздействия на окружающую среду. В настоящее время в близлежащих районах наблюдается значительное количество аварий и недопустимое состояние природной среды.

Аварии на горнодобывающих предприятиях, в том числе на хвостохранилищах (техногенных массивах), происходят практически ежегодно в разных странах, а данные о разрушениях свидетельствуют о серьезной угрозе резервуаров-хранилищ различного происхождения для людей, инженерных сооружений и окружающей среды.

Следует отметить, что для намывных сооружений хвосты одновременно являются строительным материалом, из которого, формируется техногенный массив

В связи с этим инженерно-геологическое обоснование технологических параметров формирования намывного техногенного массива, обеспечивающее его устойчивость при увеличении его объема и снижении эксплуатационных затрат, является актуальной научной задачей.

Цель работы: повышение устойчивости дамбы намывного техногенного массива для увеличения его объема, безопасности эксплуатации и снижения затрат при его формировании.

Идея работы заключается в распределении намываемых техногенных грунтов для получения равномерной дисперсности, массивной текстуры и последующей их консолидации, что обеспечивает повышение устойчивости,

увеличение объема и снижение эксплуатационных затрат при формировании намывного техногенного массива.

Научные положения, защищаемые в работе:

1. Учет параметров намыва и физико-химических свойств техногенных грунтов обеспечивает формирование однородного строения и плотного сложения массива для сохранения его устойчивости.

2. Равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы (соотношение жидкой фазы к твердой) находится в квадратичной зависимости от скорости движения пульпы и средневзвешенного диаметра частиц.

3. Коэффициент устойчивости ограждающей дамбы техногенного массива линейно зависит от геометрических параметров дамбы, прочностных характеристик намываемых грунтов и степени их уплотнения.

Научная новизна работы заключается в:

- установлении корреляционных зависимостей между технологическими параметрами намывных техногенных массивов и коэффициентом устойчивости ограждающей дамбы;

- физико-математическом описании процесса формирования намывного техногенного массива, позволяющим установить технологические параметры, обеспечивающие необходимую устойчивость ограждающей дамбы.

- разработке лабораторного стенда для моделирования процесса намыва гидротехнического сооружения (Патент РФ, № 122098, 2013 г.)

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается:

- экспериментальным выявлением закономерностей процесса намыва техногенного массива;

- инженерно-геологическим обоснованием основных и наиболее информативных факторов, определяющих устойчивость ограждающей дамбы техногенного массива;

- проведением экспериментальных исследований по формированию ограждающих дамб в лабораторных условиях и сопоставлением их результатов с данными опытно-промышленных исследований с высокой схожимостью (92-97%).

- установлением корреляционных зависимостей между параметрами намыва пляжа и высотой намывного слоя, устойчивостью и средневзвешенным диаметром частиц, скоростью подачи минерального сырья и расстоянием от расчетного створа до оси пульпопровода, позволившим повысить устойчивость техногенного массива.

В качестве фактического материала использованы результаты научно-исследовательских работ (ВНИИ ВОДГЕО, Норильского отделения МАНЭБ), инженерно-геологических изысканий (ПГП "Норильскгеология", институт "Норильскпроект"), мониторинга промышленной безопасности (гидротехническая служба Управления по надзору за основаниями и фундаментами (УНСОФ) ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель»»), фондовые и опубликованные материалы, личные наблюдения и исследования автора (2010-2021 г.г.).

Диссертация выполнена в соответствии с исполнением научно-исследовательских работ по темам, в которых автор принимал непосредственное участие в качестве исполнителя:

- «Исследования и разработка инновационных технологий комбинированной переработки и утилизации отходов предприятий цветной металлургии» в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 года», ГК №16.515.11.5027;

- «Развитие фундаментальных и прикладных исследований в области наук о Земле для мониторинга и изучения фанерозойского магматизма, современного состояния земной коры тектонически активных регионов Большого Кавказа, научного обеспечения прогнозирования, предупреждения и снижения ущерба от природных и техногенных катастроф, расширения

минерально-сырьевой базы и неразрушающего природопользования» в рамках выполнения плана НИР в рамках государственного задания ВНЦ РАН. Номер государственной регистрации - АААА-А19-119040190054-8.

Также принимал участие в полевых и лабораторных исследованиях, обработке их результатов; изготовлении лабораторной установки для моделирования технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища, физико-математическом моделировании процессов намыва; подборе расчетных схем, адекватных реальному состоянию массива грунтов ограждающей дамбы; расчетах устойчивости объекта; во внедрении результатов исследований в практику.

Научное значение работы заключается в инженерно-геологическом обосновании технологических параметров намыва техногенного массива, повышающего точность их определения за счет использования результатов физико-математического моделирования этих процессов.

Практическое значение работы состоит в разработке методики определения и оптимизации технологических параметров возведения техногенных массивов экспериментальном выявлении закономерностей процесса их намыва;

Реализация результатов работы.

Результаты исследований использованы при составлении проекта эксплуатации хвостохранилища №2 Норильской обогатительной фабрики Заполярного филиала ПАО ГМК «Норильский Никель».

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и получили положительную оценку на региональных, всероссийских и международных научно-технических конференциях и конгрессах: ежегодных научно-практических конференциях СКГМИ (ГТУ) (2011 – 2019 гг.); Строительно-промышленном форуме «Гостеприимная Осетия» (Владикавказ, 2011 г.); 2nd International Conference “Geotechnics for Sustainable Development” – GEOTEC (Hanoi, Vietnam, 2013 г.); Всероссийской конференции «Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические

процессы природного и техногенного характера на Кавказе» (Владикавказ, 2014 г.); 1st International Conference on Natural Hazards&Infrastructure (Chania, Greece, 2016 г.); XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering "The Sustainable Future of Brazil goes through our Minas" COBRAMSEG-2016 (Belo Horizonte, Brazil, 2016 г.); 1-ой Всероссийской научно-практической конференции «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Владикавказ, 2019); 2-nd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG) (Sousse, TUNISIA, 2019); 3-rd International Conference on Information Technology in Geo-Engineering (ICITG2019) (Guimaraes, PORTUGAL, 2019); 4-th International Conference on “Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development” GEOTEC (Hanoi, VIETNAM, 2019), 3-rd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG), Sousse, TUNISIA, 2020; 1-st Mediterranean Geosciences Union Annual meeting, Istanbul, TURKEY, 2021; 3-ей Международной научно-практической конференция «Развитие регионов в XXI веке» Владикавказ, 2021 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 24 работы, в том числе 12 в изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 3 в изданиях, включенных в международные базы цитирования Web of Science, 5 в изданиях, включенных в международные базы цитирования Scopus, а также 3 патента РФ

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 133 страницах машинописного текста; содержит 43 рисунка, 32 таблицы. Список использованных источников включает 167 наименования отечественных и зарубежных авторов.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ, ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАМЫВНЫХ МАССИВОВ

1.1 Способы и технологии, применяемые при строительстве и эксплуатации намывных массивов

«Промышленное освоение недр всегда было связано с образованием большого количества отходов. К тому же, несмотря на постоянное совершенствование технологии добычи и переработки полезных ископаемых, количество отходов горно-металлургического производства не уменьшается. В настоящее время только десятая, а в некоторых случаях и еще меньшая часть сырья превращается в конечную продукцию. Только по горнодобывающей промышленности количество твердых отходов составляет от 50 до 95 % извлекаемой из недр горной массы» [Месяц С.П., Волкова Е.Ю., 2009].

«На горно-добывающих предприятиях черной и цветной металлургии Российской Федерации эксплуатируются около 300 техногенных массивов, в которых уложено около 4 млрд. м³ хвостов обогащения. Причем более 180 техногенных массивов находятся в аварийном состоянии, но продолжают эксплуатироваться, так как за последние 15 лет не было построено ни одного нового техногенного массива» [Доклад о состоянии..., 2006].

«В намывные сооружения в стране ежегодно укладывается более 200 млн. м³ вскрышных пород и отходов. Для складирования в накопители вскрышные породы и минеральное сырье транспортируются на десятки километров, на что затрачивается огромное количество финансовых, материальных и трудовых ресурсов. При переходе на переработку бедных руд будет образовываться еще большее количество отходов, для складирования которых потребуются новые огромные площади. Использование таких отходов, в целом незначительно. При добыче руд из недр извлекается около 163 млн. м³ в год вскрышных пород, из которых на

различные цели используется всего 28 млн. м³, в том числе 5,5 млн. м³ для заполнения выработанного пространства; 10,1 млн. м³ для производства строительных материалов» [Доклад о состоянии..., 2006; Кириченко, 1999].

В табл.1 [Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., 2005] представлены сведения о наиболее крупных накопителях отходов.

Таблица 1.1 Сведения о хвостохранилищах горно-добывающих и горно-металлургических комбинатов

| Наименование комбината | Емкость хвостохранилища, млн. м ³ | Площадь хвостохранилища, га | Проектная высота ограждающих сооружений м | Класс капитальности | Объем воды в прудке, млн. м ³ |
|------------------------|--|-----------------------------|---|---------------------|--|
| Качканарский | 525 | 1695 | 57,0 | I | 20,6 |
| Костомукшский | 455 | 3700 | 22,3 | II | 314,2 |
| Коршунувский | 378 | 600 | 126,0 | I | 3,5 |
| Лебединский | 587 | 1081 | 94,5 | I | 15,8 |
| Удаченский | 243 | 930 | 68,0 | I | 56,0 |
| Норильский* | | | | | |
| № 1 | 144 | 620 | 50 | I | 1,0 |
| №2 | 168,7 | 430 | 50 | II | 5,2 |
| НМЗ | 26,5 | 345 | 40 | II | 9,0 |

Примечание: * данные на 2005 г. [Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., 2005]

Как видно из таблицы 1.1, в резервуарах-хранилищах хранятся миллионы тонн мусора, который является действующим источником загрязнения подземных и поверхностных водотоков, а также воздушного бассейна и может иметь катастрофические последствия в случае аварии.

Устойчивость накопителя и его негативное воздействие на окружающую среду определяются технологическими решениями, заложенными на этапе проектирования, а затем реализованными на практике.

Технологические схемы эксплуатации и проектирования намывных накопителей техногенного сырья, требования к обеспечению их промышленной и экологической безопасности достаточно полно отражены в нормативных документах: Федеральный закон №166-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [1997], с изменениями 2004-2011 гг.]; Инструкция о ведении мониторинга [1988]; Типовая инструкция по

эксплуатации хвостовых хозяйств [1976]; Рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и техногенных месторождений...» [1986]; Правила безопасности при эксплуатации хвостохранилищ..." [1986, 1997, 2002] и др.

Решению представленных вопросов посвящены многочисленные работы специализированных организаций [НИИ ВОДГЕО, Гидропроект, ГУП ВИОГЕМ, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, АОЗТ «Механобр инжиниринг», НИТУ «МИСиС», УГГУ, АО «ВНИПИпромтехнологии» и др.]. Работы Близняка Е. Б. (1937), Бондарика Г. К., Ярг Л. А. (1990); Бутюгина В.В., Савченко В.А. (2001), Бутюгина В.В., Пыхтина Б.С., Гришаевой Л.В. (2004), Галзитского В. Т., Аксенова С. Г., Хныкина А. В., (1999), Гальперина А.М., Щекиной М.В., Дьячкова Ю.Н. (1993), Голика В.И., Валиева Н. Г., Алборова И.Д. (1995), Гегуева С. М. и других (2002), Гольдина А.Л., Рассказова Л.Н. (1987), Кузьмина Е.В., Гришина М.М. (1979), Кириченко Ю.В., Иванова П.Л. (1991), Кузнецова Г.И. (1998), Лолаева А.Б. (1998), Лолаева А.Б., Бутюгина В.В. (2005), Макарова В.И. (1989), Недриги В.П. (1983), Перльштейна Г.З., Елохиной С.Н., Павленков Д.А. и др. (2001), Розанова Н.Н. (1983), Сборник руководящих материалов по надзору... (1999), Сидакова А.Г., Гегуева С.М., Цидаева Т.С. (2002), Хрусталева Л.Н. (2001), Цытовича Н.А (1928), Цытовича Н.А., Уховой Н.Б., Ухова С.Б. (1972), Чжана Р.В. (2001) и других специалистов-гидротехников.

Емкость хранилища любого типа требует строительства ограждающих дамб, возводимых из намывных хвостов, насыпных вскрышных пород или из местных грунтов.

«К характерным для техногенных накопителей являются конструкции:

- первичной насыпной дамбы, необходимой для намыва хвостов в первый период эксплуатации сооружения;

- вторичных дамб обвалования, необходимых для намыва минерального сырья в последующие периоды эксплуатации в связи с необходимостью поднятия уровня ограждающей дамбы;
- пляжа из минерального сырья, являющегося основанием для вторичных дамб обвалования при насыпной упорной призме; дренажных и противофильтрационных устройств для поддержания в теле сооружения заданного уровня воды» [Лолаев, Бутюгин, 2005].

Общий вид конструкции хвостохранилища представлен на рисунке 1.1.

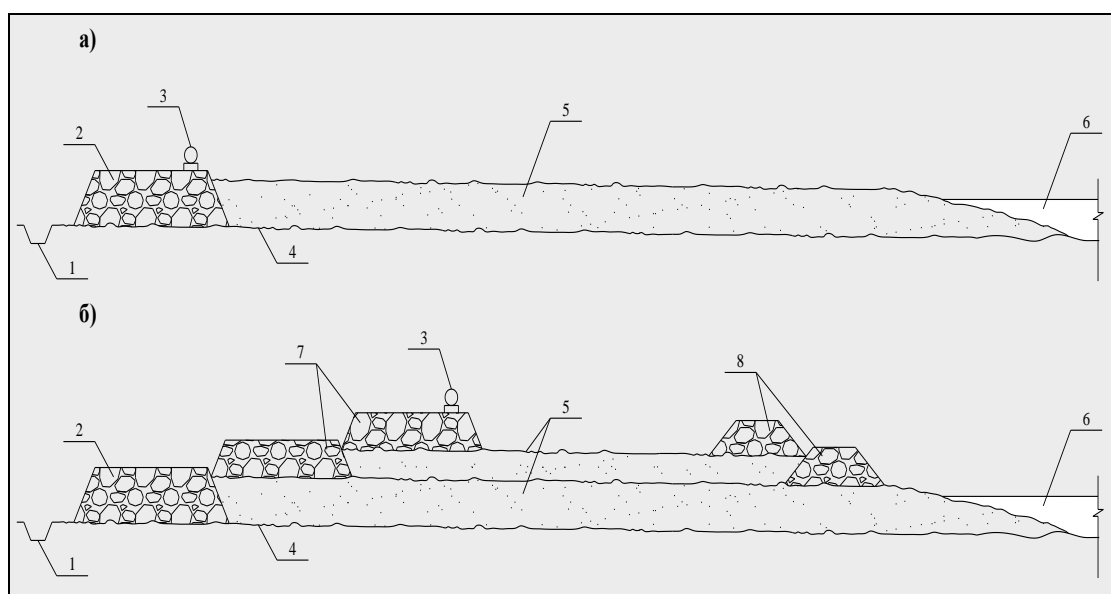


Рисунок 1.1 - Общий вид конструкции хвостохранилища:

а) без устройства пионерной дамбы; б) с устройством пионерной дамбы.

1 – дренажная канава; 2 – ограждающие дамбы первого яруса; 3 – распределительный пульпопровод; 4 – противофильтрационный экран; 5 – намывной пляж; 6 – пруд-отстойник; 7 – ограждающие дамбы второго и последующих ярусов намыва; 8 – пионерные дамбы.

«К основным способам намыва, широко применяемым при строительстве намывных сооружений относятся: эстакадный, безэстакадный и низкоопорный» [Недрига, 1983; Иванов, 1991; Гальперин, 2003].

Анализированные способы и технологии строительства намывных сооружений позволили выделить наиболее известные.

«Наиболее широко применяемая технология – намыв картами, включающий: разбивку сооружения на карты намыва, их обвалование

(отсыпка продольных и поперечных дамб), подачу пульпы на карты, раскладку грунта по течению пульпы и отвод воды.

Следующая применяемая технология — это создание вторичных дамб обвалования насыпным методом (при данной технологии в качестве материала для отсыпки могут применяться вскрышные грунты или непосредственно хвосты) с последующим намывом.

Третья часто применяемая технология - управление интенсивностью намыва за счет изменений направлений намыва, циклической подачи пульпы и управления фракционированием хвостов, отличающиеся от предыдущей расположением распределительных пульпопроводов» [Рощупкин, 1978; Гальперин, 2003; Бурлаченко, 1983].

«Следует отметить ряд особенностей, встречающихся при проектировании и строительстве намывных хвостохранилищ:

- емкость накопителей такого рода достаточно хаотически заполняется минеральным сырьем, которое впоследствии становится основанием и материалом при наращивании ограждающих сооружений;
- часто, при их строительстве не соблюдаются строгие требования к материалам, производству работ, качеству и подготовке основания и т.д.;
- физико-механические свойства минерального сырья значительно отличаются от характеристик естественных грунтов, но подходы к их изучению остаются стандартными» [Лолаев, Бутюгин, 2005].

«В сложившихся условиях все более насущной становится потребность в поиске новых решений с целью оптимизации природоохранной деятельности и снижения экологических последствий строительства и эксплуатации техногенных массивов.

Большинством исследователей и специалистов, в качестве основной причины аварий на намывных горно-технических сооружениях, выдвигается отсутствие постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием плотин и водопропускных сооружений» [Аксенов, 1997; Перльштейн, 2001 и др.].

«Основные трудности, с которыми сталкивается исследователь при расчетах устойчивости, связаны с подбором расчетных схем адекватных реальному состоянию массива; динамичностью физико-механических свойств грунтов и несовершенством методик их определения; некорректностью перехода от нормативных значений к расчетным и т.д. Известны методы расчетов К. Терцаги, Г. Крея - В.А. Флорина, А.А. Ничипоровича и др. Стремление выполнить в схеме расчлененных отвердевших отсеков более полно все условия равновесия при произвольной форме поверхности сдвига привело к созданию целого ряда оригинальных способов расчетов» [К. Янбу, Н.Р. Моргенштерн и В.Е. Прайс, А.Л. Можевитинов, Г.М. Шахунянц и др.].

«Вопросы контроля промышленной безопасности накопителей отходов и техногенного сырья полностью находятся в ведении нормативных документов органов Госгортехнадзора РФ. При этом организации, занимающиеся проектированием хвостохранилищ, практически не отходят от их положений» [СНиП, Правила..., и т.д.].

«Вопросы экологической безопасности накопителей техногенного сырья в настоящее время приобретают особое значение, т.к. практически все подобные объекты являются долгосрочными источниками негативных воздействий на атмосферу, гидросферу, почвенно-растительный покров, изменяют существующие ландшафты, а в криолитозоне являются и фактором техногенного оттаивания вечномерзлых грунтов.

На основе выполненного анализа и обобщения литературных источников можно заключить, что в решении проблемы обеспечения экологической безопасности техногенных массивов можно выделить следующие основные направления:

- выбор технологии строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений техногенных массивов;
- методы и средства обеспечения экологической безопасности техногенных массивов;

- вопросы организации мониторинга экологической безопасности» [Лолаев, Бутюгин, 2005].

Учитывая сложность проблемы в ее решении были выделены основные направления:

1. Вопросы технологии строительства и эксплуатации намывных техногенных массивов.
2. Вопросы устойчивости ограждающих конструкций.
3. Вопросы контроля промышленной и экологической безопасности.

Основное внимание в работе будет уделено вопросам оптимизации формирования и эксплуатации техногенных массивов с обеспечением устойчивости ограждающих конструкций и выполнением условий технологической и экологической безопасности сооружений. Эксплуатация складов сырья должна содержать все вышеперечисленные самостоятельные направления как единое обязательное условие обеспечения промышленной, технологической и экологической безопасности объекта.

1.2 Факторы, определяющие устойчивость и промышленную безопасность хвостохранилищ

«С устойчивостью гидротехнических сооружений связаны технологическая, промышленная и экологическая безопасность накопителей техногенного сырья. В первую очередь, определяются технологическими приемами эксплуатации объектов и во многом зависит от состояния отдельных элементов, нуждающихся в регулярном и периодическом наблюдении.

Поэтому для решения проблем промышленной и экологической безопасности техногенных массивов, особенно в криолитозоне, которая характеризуется повышенной чувствительностью к антропогенным нагрузкам, необходимы совместные действия служб эксплуатации, науки, органов Госгортехнадзора и природоохранных организаций» [Бутюгин и др., 2004].

Известно, что «контроль за надежностью и экологической безопасностью гидротехнических сооружений основан на сопоставлении фактических показателей надежности с их нормативными значениями, надлежащим образом утвержденными. Однако, как показывает опыт, несоответствие фактического состояния ГТС проектному, проявляется уже с самого начала строительства сооружений. Это обуславливается изменяющимися в процессе эксплуатации составом и свойствами хвостов, геокриологическими условиями, как оснований, так и тел подпорных сооружений, и т.д. Поэтому для таких сооружений на первое место встают вопросы научно-технического сопровождения безопасности накопителя в процессе всего периода его существования» [Бутюгин и др.,2004].

«Техническое состояние подпорных сооружений техногенных массивов в режиме эксплуатации в рамках единого геотехнического контроля обычно оценивается путем визуальных наблюдений, температурных замеров в скважинах, измерением уровней в пьезометрах и расходов техногенных утечек. При этом анализ получаемых данных преследует, в основном одну цель: оценить соответствие состояния сооружения проекту и правилам безопасности» [Правила..., 1997]. Мониторинг устойчивости ограждающих дамб не имеет четкого практического значения. Расчеты устойчивости при изменении каких-либо технических параметров эксплуатации или инженерно-геологических условий проводятся нерегулярно и не имеют надлежащего уровня достоверности.

Все факторы, определяющие устойчивость накопителей промышленных отходов, можно разделить на группы.

Природные - природно-климатические условия, геологическое строение, геологические и инженерно-геологические процессы и явления, физико-механические свойства естественных и искусственных грунтов.

«Одним из ведущих факторов, обеспечивающих представительность инженерных расчетов, являются физико-механические свойства естественных и искусственных грунтов. При этом в качестве основного

параметра, формирующего физико-механические свойства намывных грунтов, принимается зерновой состав. Несомненно, что в отдельных случаях это так, но свойства хвостов, если пользоваться в применении к ним понятием грунт, определяются многими факторами, до настоящего времени практически не исследованными: микростроение, структурные связи, химический состав и т.д., которыми объясняется широкий разброс значений деформационных и прочностных свойств» [Сергеев Е.М., 1978].

Техногенные факторы - на любой стадии изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации, ремонтов и консервации, с применением мониторинговых наблюдений каждый компонент технологических параметров техногенных массивов и природной среды, следует изучать и уточнять.

Наиболее трудоемким процессом при строительстве современного хвостохранилища является интенсивное возведение высоких намывных сооружений из хвостов с высоким содержанием частиц размером менее 0,074 мм. Уменьшение крупности помола приводит к замедлению процессов консолидации.

«Кроме факторов, определяющих устойчивость сооружения необходимы специальные показатели эксплуатационной надежности и безопасности гидротехнического сооружения. Как известно основные контролируемые показатели состояния гидротехнических сооружений делятся на диагностические количественные и качественные, предельные значения которых называются критериями безопасности гидротехнического сооружения» [Декларация..., 2002].

На основе анализа ранее выполненных работ [Лолаев, Бутюгин, 2005; Оганесян, 2013 и др.] можно сделать вывод, что основными факторами, влияющими на устойчивость техногенных массивов, являются:

- высота сооружения и заложение низового откоса как основные параметры сооружения;

- физико-механические свойства грунтов, а в частности, угол внутреннего трения и сцепление;
- влажностное состояние тела дамбы.

Исходя из этого необходимо провести исследования для определения влияния факторов на состояние ограждающей дамбы техногенного массива в зависимости от изменяемых параметров.

1.3 Объект исследований и его характеристика

1.3.1 Общие сведения о хвостохранилище

Хвостохранилище № 2 расположено в пределах междуречья двух рек Щучья и Купец и находится в километре от площадки Медного завода и в трех километрах западнее г. Норильск (Рисунок. 1.2).

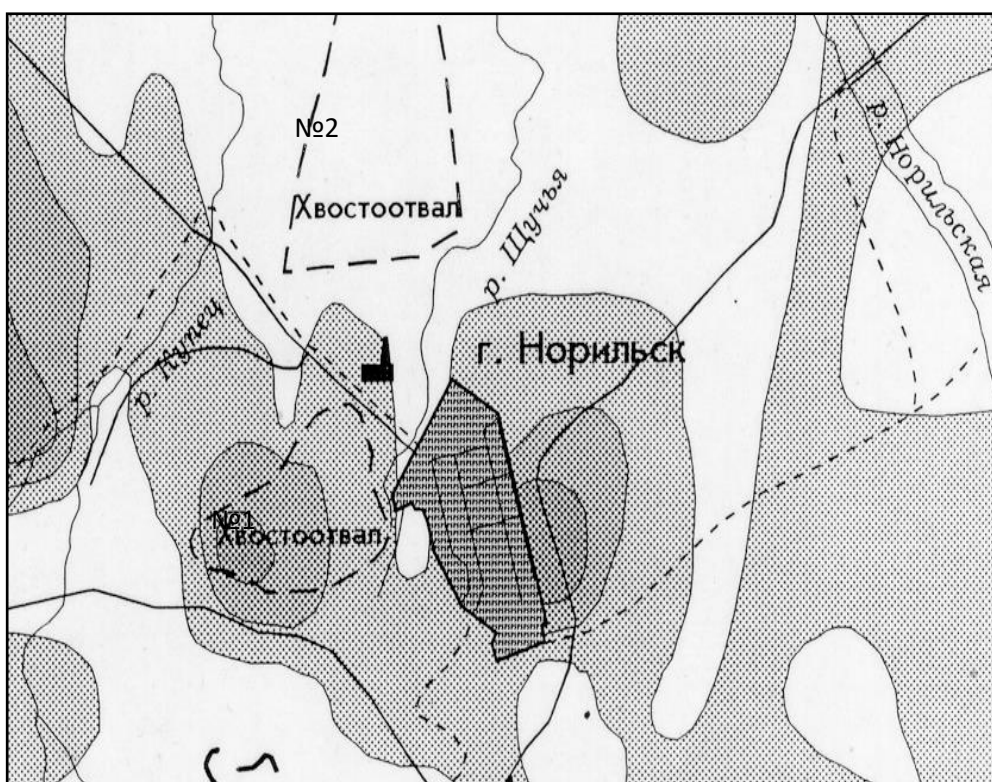


Рисунок 1.2 Местоположение хвостохранилищ № 1 и №2

Хвостохранилище №2 сооружение равнинного типа состоит из двух полей:

- ПЕРВОЕ ПОЛЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Первое поле хвостохранилища намывного типа, образовано круговой ограждающей дамбой, построено в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых грунтов с наличием сквозных таликов по I принципу (с сохранением мерзлого основания), находится в эксплуатации с 1983 года для складирования отвальных хвостов продуктов обогащения, а с 1984 года - в качестве бассейна оборотной воды» [Проект эксплуатации...,2007]. Основные параметры второго поля приведены в таблице 1.2.

- **ВТОРОЕ ПОЛЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА**

Второе поле хвостохранилища намывного типа образовано ограждающей дамбой протяженностью 4313 м, находится в эксплуатации с 2005 года.

Основные параметры второго поля хвостохранилища по состоянию на 03.2008г. («Акт преддекларационного комиссионного обследования ГТС хвостохранилища «Лебяжье», 2008г. – приложение 8) приведены в таблице 1.3.

В настоящее время в соответствии с [«Проект...», 2007], намыв дамбы осуществляется попеременно на первом и втором полях сооружения (рис.1.3). Различия заключаются в интенсивности намыва, на первом поле не более 1 м/год и на втором от 2 до 3 м/год.

1.3.2 Инженерно-геологические условия

«Территория, отведенная под строительство хвостохранилища, представляет пересеченную местность с перепадами высот до 10-12 м, осложненную многочисленными не перемерзающими озерами и протоками их соединяющими. Уклон естественного рельефа в сторону озера Пясино. В геоморфологическом отношении площадка хвостохранилища приурочена к озерно-бугристой долине р. Норильской. В северной и западной частях хвостохранилища протекают наиболее крупные реки Щучья и Купец, максимальные расходы которых достигают суммарно 25-30 м³/сек. Существующий рельеф сильно изменен в результате строительства и эксплуатации хвостохранилища. Абсолютные отметки техногенного рельефа изменяются в пределах от 33,0 м до 58,0 м» [Инструкция ..., 1998].

Таблица 1.2 - Основные параметры I поля хвостохранилища №2

| № п/п | Название параметров ГТС | Параметры ГТС и систем |
|-------|---|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 1. | Хвостохранилище | Первичная ограждающая дамба, намывная дамба, пруд-отстойник, распределительные пульповоды, сифонный водозабор с вакуумной насосной станцией, контрольно-измерительная аппаратура, дренажные сооружения |
| 2. | Назначение сооружения (вид отходов) | Прием и складирование хвостов обогащения руд цветных металлов, создание емкости для оборотного водоснабжения |
| 3. | Класс капитальности по проекту | II |
| 4. | Емкость накопителя, млн. м ³ | 168,7 |
| 5. | Площадь накопителя, км ² (по створу первичной дамбы) | 4,2 |
| 6. | Количество заскладированных отходов, млн. м ³ | 121 |
| 7. | Объем воды в отстойном прудке, млн. м ³ | 1,3 |
| 8. | Максимальная высота ограждающей дамбы, м | 49 (на конец эксплуатации) |
| 9. | Длина ограждающей дамбы, км | 7,4 |
| 10. | Среднее превышение гребня намывного пляжа над уровнем воды, м | 1,73 |
| 11. | Класс токсичности отходов в накопителе | 5 |
| 12. | Расчетный срок эксплуатации | 20 лет |
| 13. | Заложение верхового откоса | 1:50 - 1:100 |
| 14. | Заложение низового откоса | 1:4 – 1:5; |
| 15. | Ширина первичной дамбы Длина первичной дамбы Материал отсыпки дамбы | 8 м 8100 м Металлургический шлак |
| 16. | Отметка гребня ограждающей дамбы, м | 72,0-73,0 |
| 17. | Уровень воды в отстойном пруде, м | 66,77 |
| 18. | Отметка гребня намывного пляжа, м | 68,3 – 69,0 |
| 19. | Длина намывного пляжа, м | 100 |

Таблица 1.3 - Основные параметры 2-го поля хвостохранилища №2

| № п/п | Название параметров ГТС | Параметры ГТС и систем |
|-------|---|--|
| 1 | Название ГТС и объекта | Первичная ограждающая дамба, намывная дамба, пруд-отстойник, распределительные пульповоды, КИА. |
| 2 | Назначение сооружения (вид отходов) | Прием и складирование хвостов обогащения руд цветных металлов, создание емкости для оборотного водоснабжения |
| 3 | Класс капитальности по проекту | До отметки заполнения 65,0 м – II; До отметки заполнения 90,0 м – I. * |
| 4 | Дата ввода в эксплуатацию | 2005г. |
| 5 | Емкость накопителя, млн. м ³ | 123,0 |
| 6 | Площадь накопителя, км ² | 2,4 (2,65 с учетом дренажной емкости) |
| 7 | Количество заскладированных отходов, млн. м ³ | - |
| 8 | Объем воды в отстойном прудке, млн. м ³ | 2,9 |
| 9 | Высота ограждающей дамбы, м | 55 (на конец эксплуатации) |
| 10 | Длина ограждающей дамбы, км | 4,3 |
| 11 | Минимальное превышение гребня намывного пляжа над уровнем воды, м | 1,5 |
| 12 | Класс опасности отходов в накопителе | 5 |
| 13 | Расчетный срок эксплуатации | 20 лет |
| 14 | Заложение верхового откоса | 1:50 – 1:100 |
| 15 | Заложение низового откоса | 1:4 – 1:5 |
| 16 | Ширина первичной дамбы Длина первичной дамбы Материал отсыпки дамбы | 10 м 4313 м Металлургический шлак |
| 17 | Средняя отметка гребня намывного пляжа, м | 46,7 |
| 18 | Уровень воды в отстойном пруде, м | 44,60 |
| 19 | Длина намывного пляжа, м | 50 |

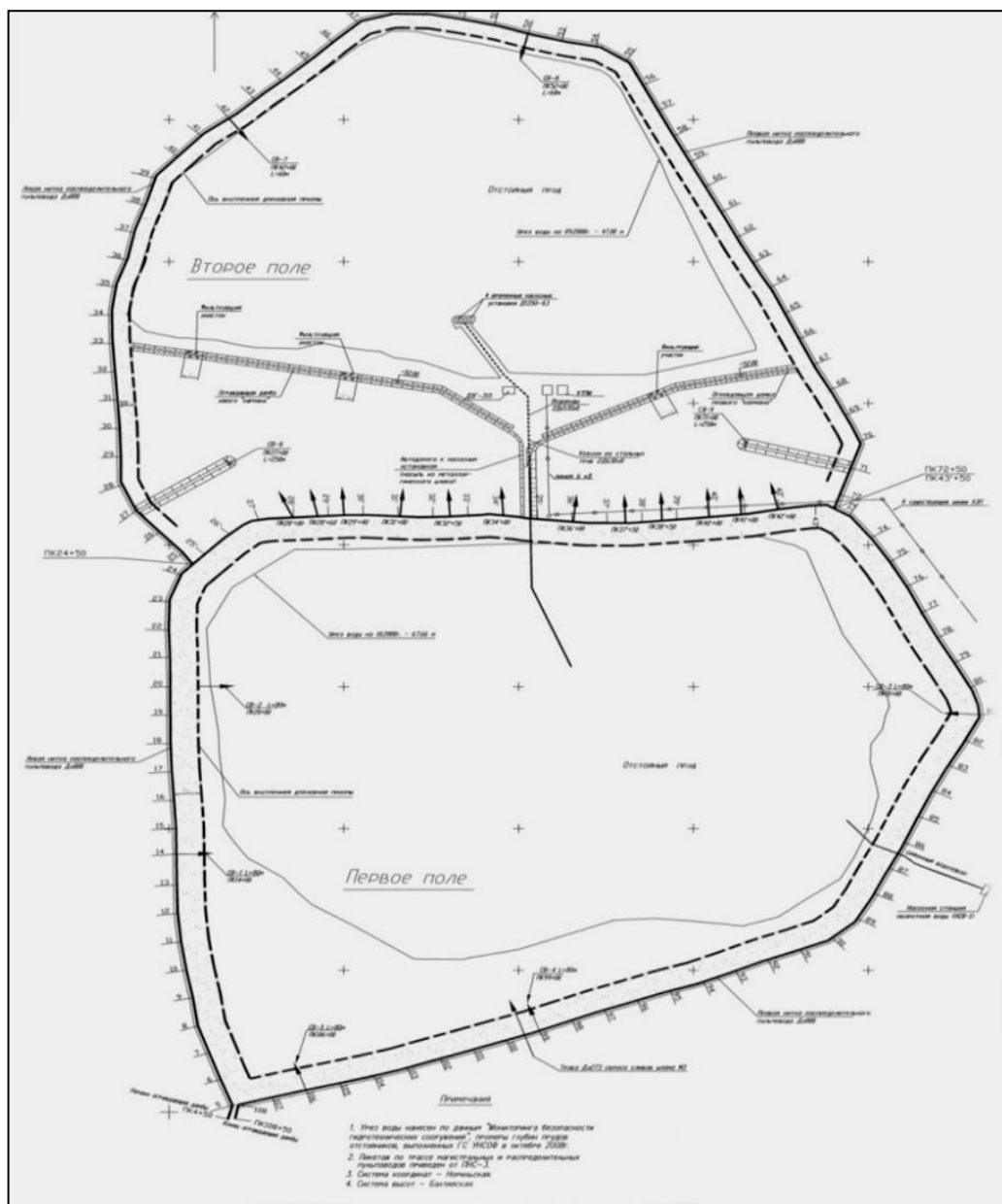


Рисунок 1.3 Общая схема хвостохранилища №2

Климат района субарктический, характеризуется отрицательной среднегодовой температурой воздуха, минус 9,5 градусов С, продолжительной зимой с сильными морозами и метелями, холодным и часто дождливым летом. Продолжительность периода с отрицательной температурой воздуха составляет 245 дней, с положительной - 120 дней. Абсолютный максимум температуры +32°С, абсолютный минимум -56°С, амплитуда колебания температур около 90°С.

Продолжительность сохранения снежного покрова 250 - 260 дней. Среднегодовая сумма осадков - 364 мм.

Среднегодовая продолжительность морозного периода составляет 240 сут. Переход среднесуточной температуры через 0⁰С весной – май; осенью – сентябрь. Испарение с поверхности суши (среднегодовое) составляет 190 мм. Испарение с поверхности воды (среднегодовое) - 250 мм. Высота снежного покрова на закрытых участках к началу снеготаяния составляет до 150 см, на открытых 15 см. Среднемесячные характеристики климата приведены в таблице 1.4 [Проект эксплуатации...,2007].

Таблица 1.4 - Среднемесячные характеристики климата

| Название характеристики | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Год |
|-------------------------------------|--------|---------|-------|--------|------|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|------|
| Температура воздуха, ⁰ С | -30,3 | -20,9 | -28,1 | -15,2 | -1,5 | 6,0 | 13,1 | 10,3 | 3,2 | -7,4 | -18,1 | -17,1 | -8,8 |
| Осадки, мм | 14,6 | 17,6 | 6,0 | 8,9 | 29,9 | 46,3 | 74,9 | 81,5 | 27,3 | 74,6 | 49,8 | 22,6 | 454 |
| Скорость ветра, м/с | 4,7 | 4,9 | 3,3 | 4,9 | 4,5 | 4,5 | 4,0 | 3,2 | 3,6 | 5,0 | 5,6 | 5,6 | 4,5 |

1.3.3 Геологическое строение

Инженерно-геологические условия детально представлены в отчетах по ИГИ, в данном разделе приводятся основные сведения.

«По данным вышеуказанных изысканий, геологический разрез представлен отложениями четвертичной системы: насыпные и намывные грунты, аллювиально-озерные отложения вальковской и арылакской толщ. Насыпные грунты представлены металлургическим шлаком, намывные – хвостами обогащения ТОФ и НОФ. Основанием чаши и дамбы хвостохранилища служат отложения верхнего звена четвертичной системы: искусственные, озерные и гляциальные.

Искусственные отложения представлены намывными хвостами обогатительных фабрик. По результатам геофизических работ и термометрических наблюдений в скважинах, в толще «хвостов» выделены

участки распространения талых и мерзлых грунтов. Мощность намывных грунтов в различных частях площадки колеблется от 12,5 до 25,0 м.

Озерные отложения представлены заторфованными суглинками и супесями, включающими растительные остатки, прослой торфов, мелкозернистых пылеватых песков и ленточных глин. Суглинки и глины в мерзлом состоянии имеют слоисто-сетчатую криогенную текстуру, при оттаивании консистенция их изменяется от тугопластичной до текучей. Пески и супеси залегают преимущественно в верхней части разреза и распространены по площади локально. Пески мелкие, пылеватые массивной криогенной текстуры, в талом состоянии водонасыщенные. Мощность озерных отложений составляет 20 - 25 метров.

Гляциальные отложения представлены суглинками, галечниками и валунниками. Суглинки галечниковые, массивной криогенной текстуры, твердые, полутвердые, в талом состоянии - пластичные. Мощность гляциальных отложений составляет 30 - 40 м.

Мощность четвертичных отложений в целом достигает 80 м» [Отчеты...,1991, 1997,1999].

1.3.4 Геокриологические условия

«Хвостохранилище расположено в районе распространения прерывистой толщи многолетней мерзлоты мощностью до 50 м, осложненной русловыми и подозерными таликами. В настоящее время водотоки залиты хвостами обогатительных фабрик, что изменило естественный температурный режим территории. По геокриологическим условиям площадка хвостохранилища относится к третьей группе сложности. Искусственные отложения имеют слоистую криогенную текстуру, определяемую условиями их накопления, т.е. намыва и консолидации. Массивная криогенная текстура, как правило, характерна для неводонасыщенных грунтов или отложений с невысокой влажностью и высокой плотностью. Чистый кристаллический лед мощностью до 5 м встречается в различных частях разреза. В намывных грунтах наблюдаются в основном ледяные прослойки мощностью 5-10 см

[Отчет...,1999]. Таликовые зоны в основании дамбы в основном приурочены к участкам ранее существовавших озер и проток их соединяющих. К таким участкам относятся северная часть-ПК 42-47; северо-восточная ПК 48-52; западная ПК 22-24; северо-западная ПК 25-27» [Отчет...,1999].

«По данным изысканий ОКИЗ "Норильскпроект" происходит промерзание намывных грунтов сверху вниз и снизу вверх, с преобладающим промерзанием сверху. Мощность мерзлых грунтов изменяется от 8,0 до 13,0 м. Верхняя часть разреза находится в мерзлом состоянии до глубины 4,5 - 5,0 м с температурой мерзлых грунтов от $-0,4^{\circ}\text{C}$ до $-3,7^{\circ}\text{C}$. Ниже 4,5 м мерзлые грунты находятся в высокотемпературном состоянии, борта дамбы сложены мерзлыми грунтами. Под существующим прудом-отстойником хвосты обогатительных фабрик находятся в талом состоянии. Толщина слоя сезонного оттаивания для намывных грунтов составляет 2,5 м и для насыпных 3,0 м, толщина сезонного промерзания 2,5 м и 3,5 м соответственно» [Отчет...,1997].

1.3.5 Физико-механические свойства грунтов

Тело дамбы имеет неоднородное строение из хвостов различного состояния с чередованием состава и свойств. По температурному состоянию выделяются два типа грунтов – мерзлые и талые. По гранулометрическому составу намывные в дамбу хвосты относятся к мелкозернистым и пылеватым. Откосы дамбы сложены частицами наибольшего диаметра, со средневзвешенным диаметром 0,24 - 0,13 мм. Диаметр хвостов на пляже составляет $d_{ср} = 0,23 - 0,07$ мм, в пределах прудка минимальное значение – $d_{ср} = 0,02 - 0,04$ мм [Отчет...,1997,1999].

Влажность хвостов (W) в пределах наружного откоса изменяется по глубине в среднем от 0,2 до 0,3 д.е., плотность сухого грунта ($\gamma_{ск}$) – 1,4-1,8 т/м³. На пляже характеристики хвостов изменяются от W = 0,1-0,2 д.е. и $\gamma_{ск} = 1,7-2,01$ г/см³ (на глубине 5-13 м) до W = 0,3-0,5 д.е. (на глубине 30-50 м). В прудковой зоне - W = 0,3-1,0 д.е. и $\gamma_{ск} = 1,5-0,65$ г/см³ [Отчет...,1997].

Как показывают результаты анализа ранее выполненных исследований, искусственные отложения представлены (по зерновому составу) песками различной крупности, пылеватыми песками и супесями. Значения физико-механических свойств намывных хвостов изменяются в широких пределах [табл. 1.5].

Таблица 1.5 Характеристики физико-механических свойств хвостов
[Отчет...,1997]

| Название грунтов | Влажность, % | Плотность минеральных частиц, т/м ³ | Плотность, т/м ³ | Плотность сухого грунта, т/м ³ | Удельное сцепление, МПА | Угол внутр. трения, град |
|----------------------|--------------|--|-----------------------------|---|-------------------------|--------------------------|
| Песок разнозернистый | 0,33 | 2,77 | 2,02 | 1,59 | 0,0048 | 30 |
| Песок пылеват. | 0,34 | 2,98 | 1,92 | 1,38 | 0,008 | 34 |
| Супесь | 0,396 | 3,1 | 1,71 | 1,32 | 0,011 | 35 |
| Суглинок | 0,41 | 3,07 | 1,69 | 1,28 | 0,12 | 28,7 |

Тело ограждающей дамбы представляет собой сложную техногенную

Следует отметить, что несмотря на значительный объем проведенных исследований и накопленный опыт эксплуатации сооружения, технологические вопросы эксплуатации двух полей хвостохранилища остаются недостаточно проработанными.

1.4 Цели и задачи исследований

В настоящее время техногенные массивы, представляющие собой опасные производственные объекты, являются предметом изучения и контроля технологической и экологической безопасности. Устойчивость подобных сооружений, и их негативное воздействие на окружающую среду определяется принятием технических решений на стадии проектирования и реализуемыми впоследствии на сооружении в практике.

Объект хвостохранилище №2 является ответственным сооружением в криолитозоне. Техногенные отложения и хвосты, слагающие тело намывной дамбы, представляются широким диапазоном физико-механических

характеристик, отсутствием установленных зависимостей между показателями влажность – плотность - дисперсность – прочность.

В соответствии с этим, целью работы является повышение устойчивости дамбы намывного техногенного массива для увеличения его объёма, безопасности эксплуатации и снижения затрат при его формировании.

В задачи исследований входили:

- анализ и обобщение теории и практики возведения намывных техногенных массивов;
- выбор основных факторов, определяющих устойчивость ограждающей дамбы техногенного массива;
- разработка методики возведения намывного техногенного массива;
- проведение экспериментальных исследований по формированию ограждающих дамб в лабораторных условиях и сопоставление их результатов с данными опытно-промышленных исследований;
- определение оптимальных параметров состава и состояния техногенных грунтов при формировании намывного массива;
- оптимизация параметров намыва и практическая реализация разработанной методики (на примере хвостохранилища №2 ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»).

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НАМЫВНЫХ МАССИВОВ

2.1 Общая постановка задачи управления устойчивостью, промышленной и экологической безопасностью, факторы управления и их характеристики

При проектировании расчеты на устойчивость предусматривают определенный запас прочности и устойчивости конструкций, а проверочные расчеты, связанные с изменением технологии эксплуатации конструкции, выполняются только в особых случаях. Для обеспечения экологической безопасности техногенных массивов необходимо разработать методику моделирования различных ситуаций, которые могут возникнуть.

Основным критерием устойчивости сооружений в численном выражении является коэффициент запаса устойчивости.

«Наиболее важным и ответственным моментом в проведении исследований, обеспечивающих промышленную и экологическую безопасность техногенного массива, является сбор фактов, относящихся к поставленным задачам, являющихся основой для всех последующих методических и практических действий. Это особенно актуально для сооружений, расположенных в криолитозоне, где ситуация постоянно изменяется вследствие климатических особенностей, высокой динамичности свойств мерзлых грунтов, особенностей в технологических цепочках обогащения и др. Поэтому для таких объектов на первое место встают вопросы научно-технического сопровождения безопасности накопителя в процессе всего периода его существования» [Бутюгин и др., 2004].

Проводятся регулярные геодезические наблюдения за ходом намыва ограждающей дамбы хвостохранилища. Для этого поверхность пляжа разбивается на расчетные створы с мерными рейками.

Определяются физико-механические свойства в лабораторных условиях хвостов, проводятся модельные исследования технологических процессов.

«Полученные данные используются в качестве основы для построения моделей устойчивости и экологической безопасности техногенного массива. Расчеты устойчивости гидротехнических сооружений и их оснований выполняют по методу предельных состояний с использованием специально разработанной постояннодействующей модели устойчивости сооружения» [Лолаев и др. 2001].

«Особое внимание в исследованиях уделяется моделированию устойчивости сооружения в различных режимах эксплуатации: изменение физических и физико-механических свойств хвостов, геометрических параметров ограждающей дамбы, интенсивности намыва и т.д. Моделирование проводилось следующим образом. На первом этапе на основе результатов анализа материалов изысканий и наблюдений выбирается наиболее типичное сечение ограждающей дамбы по которому проводятся предварительные расчеты, а полученный результат принимается базовым. На последующих этапах устанавливаются закономерности влияния на заложение низового откоса и др. при постоянных и изменяющихся в процессе намыва и последующей консолидации значениях физико-механических свойств. На последнем этапе проводятся многовариантные расчеты устойчивости с использованием всех установленных выше закономерностей. Полученные результаты заносятся в базу данных и могут пополняться в процессе получения новых данных о строении намывного массива или физико-механических свойствах хвостов его слагающих» [Лолаев и др. 2001]

2.2 Комплексные исследования состава, структуры и свойств техногенных грунтов.

2.2.1 Методика, состав и материалы исследований

В лабораторных условиях исследования техногенных грунтов были выполнены по методической схеме, разработанной в лаборатории грунтоведения Института земной коры СО РАН д.г.-м.н. Т.Г.Рященко.

«План исследований включал определение следующих показателей:

- определение гранулометрического состава техногенных грунтов;
- расчеты содержания микроструктурных параметров по методу «Микроструктура». Определение типа микроструктуры и структурной модели;
- определение состава и содержания компонентов, формирующих структурные связи (анализ водной, солянокислой и щелочной вытяжек);
- изучение физических и физико-химических свойств (плотность минеральной части, седиментационный объем, углы естественного откоса на воздухе и под водой, пластичность, емкость катионного обмена, рН; на образцах- пастах определялись относительное набухание и объемная усадка).
- исследование механических свойств (прочностных характеристик, деформационных характеристик грунтов при различных значениях влажности)» [Рященко и др., 2021].

Использовались воздушно-сухие образцы техногенных грунтов нарушенного сложения.

Образец светло-коричневый с сероватым оттенком, содержит тонкие песчаные частицы (в большом количестве) и пылеватые фракции (песок).

2.2.2 Исследование физико-механических свойств хвостов.

Гранулометрический и минеральный состав грунтов.

Для реализации метода выполнялся цикл операций: 1) проводится гранулометрический анализ пипеточным методом для образцов-дубликатов с тремя способами подготовки к анализу (I – агрегатный; II – полудисперсный-стандартный; III – дисперсный), и рассчитываются коэффициенты микроагрегатности для всех шести фракций (К_{ма} 1-6); 2) ведутся расчеты содержания различных параметров микроструктуры (%): общее количество агрегатов (А) и их разновидностей по размерам (А1-А5); содержание первичных (свободных) частиц (М1-М6); содержание

частиц (фракций) различных размеров в агрегатах (М2-А; М3-А; М4-А; М5-А; М6-А); коэффициент свободы первичных частиц (F1-6); «реальная глинистость» грунта (М8) и коэффициент глинистости (Кгл). В заключение на основании предложенных классификационных таблиц определяются типы микроструктуры и структурной модели грунта.

При выполнении различных операций в процессе применения метода «Микроструктура» приняты, как указано выше, условные индексы. Для их расшифровки составлена специальная сводная таблица (Таблица 3.1), которая включает 28 параметров; в примечании к этой таблице приведена расшифровка еще двух индексов (М7, М11).

Таблица 2.1 Сводная таблица индексов. Параметры микроструктуры лессовых и глинистых грунтов (метод «Микроструктура»)

| Индекс | Параметры, % | Индекс | Параметры, % |
|--------|--|--------|--|
| А | Общие содержание агрегатов | М5-А | Частицы в составе агрегатов (0,002-0,001) мм |
| А1 | Агрегаты - 1,00-0,25 мм | М6 | Первичные частицы <0,001 мм |
| А2 | Агрегаты - 0,25-0,05 мм | М6-А | Частицы в составе агрегатов (<0,001) мм |
| А3 | Агрегаты - 0,05-0,01мм | М7 | Реальное содержание фракции < 0,001мм |
| А4 | Агрегаты - 0,01-0,002мм | М8 | Реальное содержание фракции < 0,002мм |
| А5 | Агрегаты - 0,002-0,001мм | М9 | Содержание фракции <0,002мм по стандартной гранулометрии |
| М1 | Первичные(свободные) частицы - 1,00-0,25мм | Кгл | Коэффициент глинистости (М8/М9), расчет в долях ед. |
| М2 | Первичные частицы 0,25-0,05мм | М11 | Общее содержание фракции 0,05-0,002 по стандартной гранулометрии |
| М2-А | Частицы в составе агрегатов (0,25-0,05) мм | F1 | Коэффициент свободы фракции 1,00-0,25мм |
| М3 | Первичные частицы 0,05-0,01 | F2 | Коэффициент свободы фракции |

| | | | |
|--------|---|----|---|
| | мм | | 0,25-0,05мм |
| M3-A | Частицы в составе агрегатов (0,05-0,01) мм | F3 | Коэффициент свободы фракции 0,05-0,01мм |
| M4 | Первичные частицы 0,01-0,002 мм | F4 | Коэффициент свободы фракции 0,01-0,002мм |
| M4 - A | Частицы в составе агрегатов (0,01-0,002) мм | F5 | Коэффициент свободы фракции 0,002-0,001мм |
| M5 | Первичные частицы - 0,002 - 0,001 мм | F6 | Коэффициент свободы фракции <0,001 мм |

Примечание: Условные индексы были расшифрованы при описании операции расчетов, кроме M11 - суммарное содержание крупнопылеватых и мелкопылеватых фракций при стандартной гранулометрии. M7 – реальное содержание тонкоглинистых (<0,001мм) частиц (сумма первичных и мобилизованных в агрегаты).

«Гранулометрический анализ выполнялся пипеточным методом тремя способами подготовки образца: микроагрегатным, стандартным (кипячение с аммиаком) и дисперсным (кипячение с пирофосфатом натрия)» [Ломтадзе, 1990]. «Для изучения степени агрегированности намывных отложений применялся метод структурных диаграмм, предполагающий использование результатов гранулометрического анализа при расчете коэффициентов микроагрегатности ($K_{ма}$) для шести фракций по разности их содержаний при дисперсной и агрегатной подготовке образца» [Рященко, 2010, 2021].

В таблице 2.2 представлена расшифровка принятых индексов показателей.

Таблица 2.2 Принятые индексы показателей

| Показатель | Расшифровка | Ед. изм. | Крупность |
|------------|-------------------------------------|----------|---------------|
| $M_{пс}^1$ | содержание крупно-песчаной фракции | % | более 0,25мм |
| $M_{пс}^2$ | содержание мелко-песчаной фракции | % | 0,25 - 0,05мм |
| $M_{п}^1$ | содержание крупно-пылевой фракции | % | 0,05 - 0,01мм |
| $M_{п}^2$ | содержание мелко-пылевой фракции | % | 0,01- 0,002мм |
| $M_{с}^1$ | содержание крупно-глинистой фракции | % | 0,002-0,001мм |
| $M_{с}^2$ | содержание мелко-глинистой фракции | % | менее 0,001мм |

где $M_{пс}$, $M_{п}$, $M_{с}$ - суммарное содержание песчаных, пылеватых и глинистых фракций, %; ^{1, 2} – индексы.

Коэффициенты микроагрегатности рассчитывались по методике, Т.Г.Рященко. «По этим коэффициентам, которые представляют собой разность содержаний фракций, определенных при дисперсной подготовке образца (максимально разрушаются только агрегаты, если они есть в грунте) и микроагрегатной (разрушаются только водо-неустойчивые агрегаты), можно оценить степень агрегированности, определить размеры агрегатов и их строение, т.е. узнать, из каких более мелких частиц они состоят. Кроме того, определяется степень свободы мелко-глинистых (менее 0,001 мм) частиц по величине $K_{ма}$ » [Рященко, Акулова, 1998, 2011].

Коэффициенты определяются:

$$K_{ма}^{1-2} = M_c^2(д) - M_c^2(ма) \quad (2.1)$$

$$K_{ма}^{1-1} = M_c^1(д) - M_c^1(ма) \quad (2.2)$$

$$K_{ма}^{2-2} = M_p^2(д) - M_p^2(ма) \quad (2.3)$$

$$K_{ма}^{2-1} = M_p^1(д) - M_p^1(ма) \quad (2.4)$$

$$K_{ма}^{3-2} = M_{пс}^2(д) - M_{пс}^2(ма) \quad (2.5)$$

$$K_{ма}^{3-1} = M_{пс}^1(д) - M_{пс}^1(ма) \quad (2.6)$$

где (д) - содержание соответствующей фракции при дисперсном способе подготовки образца, %; (ма) - то же при микроагрегатном способе подготовки, %

Чем меньше этот коэффициент, тем больше степень свободы, то есть глинистые частицы не находятся в составе агрегатов, а являются первичными. Когда все мелко-глинистые частицы свободны и не участвуют в формировании агрегатов $K_{ма}$ больше или равен нулю.

« $K_{ма}$ всегда отрицателен, если крупно-песчаные частицы представляют собой агрегаты и равен нулю, если все они первичны. Остальные четыре коэффициента могут иметь произвольные значения.

Отрицательное значение коэффициента микроагрегатности говорит о том, что произошло уменьшение содержания фракции при дисперсной подготовке образца, значит, разрушились агрегаты этой размерности и составляющие их частицы ушли в группу более мелких. Следовательно, отрицательный коэффициент показывает количество агрегатов

соответствующей величины. Коэффициент микроагрегатности с положительным знаком - прибавка частиц более мелких размеров, которые освободились из агрегатов» [Рященко, Акулова, 1998, 2011].

Таким образом, при диспергации происходит закономерный процесс: более крупные элементы разрушаются, а самые мелкие собираются в составе фракции менее 0,001 мм

«Далее определялись параметры микроструктуры: количество агрегатов (А) и первичных частиц (М), их распределение по размерам (A_i , M_i) и коэффициенты свободы фракций (F_i), представляющих долю (%) первичных частиц в их общей сумме (первичные + находящиеся в агрегатах); выполнялись специальные расчеты для определения типа структурной модели грунта» [Рященко, Акулова, 1997, 2021]. В зависимости от количества агрегатов тип микроструктуры определялся по классификационной таблице 2.3

Таблица 2.3 Классификация типов микроструктур (по Рященко)

| Общее количество агрегатов (А), % | Микроструктура | Условный индекс |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------|
| $A < 10$ | скелетная | ск |
| $10 < A < 25$ | агрегированно-скелетная | аг-ск |
| $25 < A < 40$ | скелетно-агрегированная | ск-аг |
| $A > 40$ | агрегированная | аг |

Тип структурной модели грунта устанавливался по размеру преобладающих элементов ($A_i + M_i$) и специальному коэффициенту G по классификационной таблице 2.4.

Коэффициент G — доля первичных частиц в общей сумме структурных элементов (первичные частицы плюс агрегаты), %; x — размер первичных частиц и агрегатов, мкм.

Таблица 2.4 Классификация типов структурных моделей

| Размер преобладающих элементов | Тип модели | $G = M^x/A^x + M^x$ | Тип модели |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------|
| $A^1 + M^1$ | Средне-крупнопесчаная (250-500 мкм) | $80 < G < 100$ | Элементарная |
| $A^2 + M^2$ | Тонко-мелкопесчаная (50- 250 мкм) | $20 < G < 80$ | Смешанная |
| $A^3 + M^3$ | Крупнопылеватая (10-50 мкм) | $G < 20$ | Агрегированная |
| $A^4 + M^4$ | Мелкопылеватая (2-10 мкм) | | |
| $A^5 + M^5$ | Грубоглинистая (1-2 мкм) | | |

Примечание: м/с – микроструктура, А - общее количество агрегатов, в том числе A^{1-5} - 250-500, 50-250, 10-50, 2-10, 1-2 мкм; M^{1-5} - количество первичных частиц тех же размеров, M^6 - количество первичных частиц < 1 мкм; M^{2-A} - M^{6-A} - количество частиц 50-250, 10-50, 2-1 и < 1 мкм в составе агрегатов; M^7 – общее количество (первичных и в составе агрегатов) частиц < 1 мкм; M^8 - общее количество (первичных и в составе агрегатов) частиц < 2 мкм; F^1 - F^6 - коэффициенты свободы, рассчитанные для фракций 250-500, 50-250, 10-50, 2- 10, 1-2 и < 1 мкм.

2.3 Теоретические предпосылки составления прогностических моделей для оценки устойчивости ограждающей дамбы техногенного массива

Определение и обоснование наиболее важных факторов, влияющих на устойчивость и безопасность намывных накопителей отходов и гидротехнических сооружений, является одним из самых важных этапов.

«По достоверности всю исходную информацию можно разделить на детерминированную, вероятностную и нечеткую. Детерминированная информация, появляется в результате применения четких законов к четким явлениям. Вероятностная - основывается на применении методов статистики и теории вероятностей и используется для обработки значительных по объемам массивов данных. В том случае, когда главным вопросом является выбор основных параметров, характеризующих устойчивость и

экологическую безопасность сооружений, эти методы не всегда приемлемы» [Лолаев, 1998].

«Главное внимание уделяется нечеткой информации в виде нечетких множеств. При этом появляется настоятельная необходимость раскрытия понятия нечеткости для инженерно-геологических изысканий, поскольку она является ее методологической сутью. Понятие нечеткости во многом связано с субъективностью и приблизительностью представлений о каком-либо показателе системы. Нечеткие величины, в отличие от вероятностных, характеризуются не вероятностным законом распределения, основанном на объективной статистике, а функцией принадлежности, ранжирующей степень принадлежности рассматриваемой величины от полной непринадлежности до полной принадлежности к физической природе явлений. Наименее точной, неоднозначной, является нечеткая информация, но она в большинстве случаев остается единственной, характеризующей процессы в практике инженерно-геологических изысканий, особенно при прогнозных оценках развития геологических и геоэкологических процессов, например, построение прогнозных геоэкологических карт» [Нечеткие...,1989; Методика..., 1989; Инженерные..., 1990; Заде, 1976; Zadeh, 1968; Davis and Smith, 1983].

Виды неопределенности представлены в виде дерева (рис. 2.1) [Нариньяни, 1986, 1994; Борисов и др., 1989].

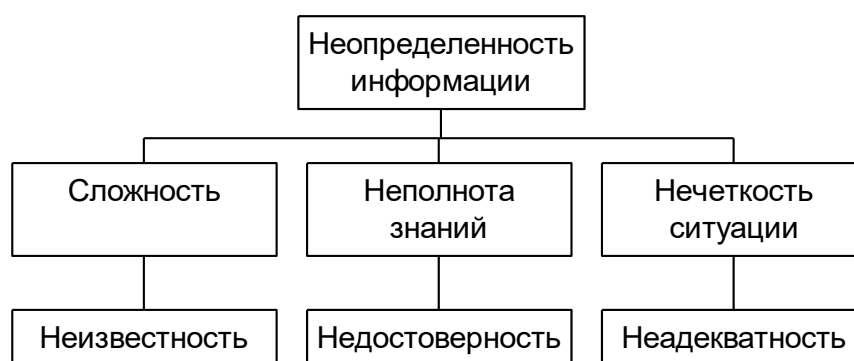


Рисунок 2.1 Классификация причин неопределенности в решении задач предметной области

«Неопределенность информации для решения задач предметной области определяется тремя составляющими: сложностью строения грунтового массива как объекта исследований; неполнотой знаний о состоянии массива грунтов как на отдельном участке, так и в целом, что связано с недостаточной определенностью наших конкретных знаний; нечеткостью ситуации, что связано с отсутствием точных границ областей определений, и свойственной большинству, если вообще не всем, понятиям» [Берштейн и др., 1989; Заде, 1976, Нечеткие...,1989; Zadeh, 1968; Нариньяни, 1986, 1994].

«Второй уровень дерева указывает общие причины неопределенности информации в области изысканий: в ситуации неизвестности, например, на первых стадиях изучения задачи, когда еще не выработаны требования к критериям оценки, когда неизвестны требования заказчика или возможности исполнителя, а также, когда информация о проблеме практически отсутствует; недостоверность при сборе данных на первом этапе исследований может оказаться, что собранная информация обладает недостоверностью, поскольку имеются еще не все возможные и необходимые сведения, а для некоторых элементов определены не их однозначные описания, а лишь множества, которым эти описания принадлежат; неадекватность является мерой оценки степени знаний, информации, модели и т.д. о данном явлении и возможности применения их на практике. При этом существенным является методологически обусловленное применение или разработка критериев оценки адекватности. Продолжение исследований в данном направлении должно привести либо к адекватному описанию явлений моделями, либо неадекватному, когда собрана вся возможная информация, но полного описания нет и оно не может быть получено этим путем» [Берштейн и др., 1989; Заде, 1976, Нечеткие...,1989; Zadeh, 1968; Нариньяни, 1986, 1994].

«Используемый для анализа математический аппарат обычных множеств оказывается недостаточно эффективным при решении задач предметной области. Кроме того, в массивах анализируемых сообщений

большое место занимает качественная и субъективная информация, которая не может быть адекватно формализована известными математическими подходами. Этот недостаток может быть преодолен с использованием методов теории нечетких множеств» [Лолаев, 1998].

2.3.1 Методика построения моделей в нечеткой среде

«Обеспечение надежности и достоверности получаемых результатов или выводов по экспериментальным данным в четкой информационной среде достигается применением теории планирования экспериментов. Однако в нечеткой информационной среде, каковой являются результаты инженерно-геологических изысканий, применение теории планирования эксперимента нуждается в дополнительном обосновании, особенно в части оценки адекватности получаемых уравнений экспериментальным данным» [Налимов, Чернова, 1965].

Для обоснования применимости теории планирования эксперимента на ЛП были приняты исходные предложения:

- «поведение исследуемой системы описывается экспертом на естественном, или близком к нему языке, что делает ЛП наиболее адекватным средством представления его знаний, а переход от словесных оценок к числовым не вызывает затруднений по любой из шкал;
- в основу мировосприятия человека заложена оппозиционная шкала. В оппозиционной шкале маркированы лишь концы шкалы, а середина соответствует нейтральному значению между концами шкалы. Маркировка промежуточных значений достигается дальнейшим делением шкалы и таким образом эксперт ранжирует свои понятийные оценки;
- оппозиционная шкала из k значений ЛП является шкалой $k-1$ равнокажущихся интервалов и ее деления отстоят друг от друга на психологическом континууме на равных интервалах и, следовательно, ошибки классификации значений ЛП равны друг другу;

• в силу доминирования у эксперта аналитического мышления, заключающегося в представлении входных переменных как независимых, применение методов теории планирования эксперимента наиболее естественным образом отвечает понятийной модели описываемого процесса, существующей в его сознании» [Дроздов, Спесивцев, 1994].

«При работе с экспертом опрос планируют, т.е. задают эксперту значения входных ЛП. Тогда на основании к опросу эксперта можно подходить с точки зрения теории планирования эксперимента, аппроксимируя результаты аналитической функцией вида» [Дроздов, Спесивцев, 1994]:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{u,j=1}^n \beta_{ju} X_j X_u \quad (j \neq u), \quad (2.7)$$

«Кодирование лингвистических переменных необходимо для представления всех переменных в едином стандартизованном масштабе в интервале от -1 до +1. Коэффициенты полинома, находящиеся в пределах ошибки, в дальнейшем считают равными нулю и из рассмотрения исключают.

Следует отметить, что применение теории планирования эксперимента позволяет построить ортогональный план цепочек причинно-следственных связей типа *ЕСЛИ ...*, *ТО ...*, обладающий свойством ротатабельности. При этом ортогональность обуславливает независимость значений по каждой ЛП, облегчая тем самым работу эксперта. Ротатабельность композиционного плана дает равномерное «размазывание» информации по сфере, что хорошо коррелирует с интуитивными понятиями эксперта» [Дроздов, Спесивцев, 1994; Налимов, Чернова, 1965].

«Для получения явно выраженной тенденции методологически целесообразно по каждой из входных ЛП выбирать нечетное количество интервалов разбиения, т.к. это дает возможность оценки адекватности функции мнению эксперта в центре планирования» [Дроздов, Спесивцев, 1994].

Исходя из вышесказанного, алгоритм получения решения поставленной задачи представлен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 Алгоритм построения прогностической модели

2.4 Оценка устойчивости математическими методами

«Как известно, расчеты гидротехнических сооружений и их оснований выполняют по методу предельных состояний, в соответствии с этим положением, не допускается наступление предельных состояний в сооружении или его основании, как в период строительства, так и в период его эксплуатации. Возможность наступления предельного состояния оценивают путем сопоставления значений усилий, напряжений, деформаций, перемещений и т. д. с их предельными значениями» [Справочник...,1983].

«Различают две группы предельных состояний:

1) по потере несущей способности или непригодности к эксплуатации – потеря устойчивости; разрушение сооружения, обусловленное разрушением материала самого сооружения или основания, совместным воздействием силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды; состояния, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации вследствие опасных подвижек сооружения или основания, ползучести, чрезмерного раскрытия трещин и т.д.;

2) по непригодности к нормальной эксплуатации – состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию сооружений и оснований или снижающие их долговечность и требующие проведения ремонтных работ (недопустимые перемещения, трещины и т. п.).

По предельным состояниям первой группы производят расчеты прочности и устойчивости ГТС, их конструкций и оснований; по предельным состояниям второй группы – расчеты перемещений, раскрытия трещин, местной прочности оснований и устойчивости естественных склонов» [СНиП 33-01-2003].

2.4.1 Коэффициент запаса устойчивости

Расчет устойчивости откосов дамб и плотин остается до сих пор наименее изученным и наиболее ответственным разделом при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений.

Хвостохранилища, согласно положений нормативных документов, в зависимости от высоты сооружения, типа основания, последствий аварии делятся на четыре класса (таблица 2.5).

Таблица 2.5 Классы грунтовых гидротехнических сооружений

| Гидротехническое сооружение | Грунты основания | Высота сооружения, м, определяющая классы | | | |
|---------------------------------|--|---|--------|-------|-----|
| | | I | II | III | IV |
| Плотины из грунтовых материалов | - Скальные | >100 | 70-100 | 25-75 | <25 |
| | - Песчаные, глинистые в твердом и полутвердом состоянии | >75 | 35-75 | 15-35 | <15 |
| | - Глинистые <u>водонасыщенные в пластическом состоянии</u> | >50 | 25-50 | 15-25 | <15 |

В таблице 2.6 приведены минимальные значения допускаемых коэффициентов запаса устойчивости откосов дамб и плотин при различных сочетаниях воздействий, нагрузок и классов капитальности ГТС.

Таблица 2.6 Допустимые значения коэффициента запаса устойчивости откосов грунтовых плотин

| Сочетания нагрузок и воздействий | Класс капитальности | | | |
|----------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|
| | I | II | III | IV |
| Основные | 1,3-1,25 | 1,2-1,15 | 1,15-1,1 | 1,1-1,05 |
| Особые | 1,1-1,05 | 1,1-1,05 | 1,05 | 1,05 |

При расчетах устойчивости откосов обычно рассматривают плоскую задачу, для решения которой существует различные методы. Принципиально их можно разделить на две группы.

«К первой относятся методы, основанные на теории предельного равновесия, в которых предполагается, что во всей рассматриваемой области грунтового массива одновременно возникает предельное состояние – семейство поверхностей предельного равновесия, по которым возможен сдвиг, и задача заключается в определении наиболее опасной из них. Имеющиеся решения являются строгими, но чрезвычайно сложны, а допущение о возникновении предельного состояния, одновременно во всех точках рассматриваемой области, с физической точки зрения весьма условно, поэтому в практических расчетах методы первой группы не применяются.

Методы второй группы основаны на представлении, что оползание откоса может произойти по некоторой, заранее заданной, поверхности, которую чаще всего принимают в форме дуги окружности или ломаной, состоящей из нескольких прямолинейных отрезков. Для решения задачи используют одно из уравнений статики: $\Sigma M=0$ – при круглоцилиндрической поверхности скольжения; или $SX=0$ – в случае оползания по ломаной, состоящей из прямолинейных отрезков.

Коэффициент запаса устойчивости определяют путем сопоставления действительного состояния откоса с предельным. В самом общем случае это можно представить в виде:

$$K_{уст} = \frac{R}{R_L} \quad (2.8)$$

где R – обобщенное реактивное предельное сопротивление грунта действию разрушающей или предельной нагрузки; R_L – реакция массива грунта на действующую нагрузку. Таким образом, $K_{уст}$ имеет определенный физический смысл и показывает, в какой мере использовано возможное предельное сопротивление грунта. Весьма существенно, что при этом сопротивляются только одинаковые по природе реактивные силы – предельные и действующие» [СП 20.13330.2016].

Условие равновесия имеет вид:

$$R_L - A = 0, \quad (2.9)$$

«где A – обобщенная активная сила, соответствующая действительному состоянию массива» [СП 20.13330.2016].

В результате решение уравнений (2.14) и (2.15) получим $K_{уст}$ в виде:

$$K_{уст} = \frac{R}{A}. \quad (2.10)$$

В случае действия на сооружение и вертикальных и горизонтальных нагрузок, можно использовать следующий путь определения $K_{уст}$, исходя из соотношений:

$$K_{уст} = \frac{T_{pr.react.}}{T_{c.react.}} \quad \text{или} \quad K_{уст} = \frac{M_{pr.react.}}{M_{c.react.}} \quad (2.11)$$

где $T_{pr.react.}$ и $M_{pr.react.}$ – сумма проекций или моментов всех реактивных сил в предельном состоянии; $T_{c.react.}$ и $M_{c.react.}$ – сумма проекций или моментов действующих реактивных сил» [СП 20.13330.2016]. Условия равновесия в этом случае можно представить в виде:

$$T_{c.react.} = E_{c.act.} \quad \text{или} \quad M_{c.react.} = M_{c.act.} \quad (2.12)$$

Совместное решение уравнений (2.17) и (2.18) имеет вид:

$$K_{уст} = \frac{T_{pr.react.}}{E_{c.act.}} \quad \text{или} \quad K_{уст} = \frac{M_{pr.react.}}{M_{c.act.}} \quad (2.13)$$

2.4.2 Расчеты устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения

«Сумма моментов всех активных и реактивных сил относительно центра окружности скольжения должна быть равна нулю:

$$M_{act} - \int_S r\tau(s)ds = 0. \quad (2.14)$$

Заменим интегрирование суммированием, разделив предварительно всю область выпора на n отсеков шириной b и c основанием Δs . Тогда уравнение равновесия приобретает вид:

$$M_{act} - r \sum_{i=1}^{i=n} \tau_i \Delta s_i = 0 \quad (2.15)$$

В соответствии с (2.17) запишем выражение для коэффициента запаса в форме:

$$K_{уст} = \frac{M_{pr.react.}}{M_{c.react.}} = \frac{r \sum \tau_{i \lim} \Delta s_i}{r \sum \tau_i \Delta s_i} = \frac{\sum \tau_{i \lim} \Delta s_i}{\sum \tau_i \Delta s_i} \quad (2.16)$$

где $\tau_{i\text{lim}}$ -предельное сопротивление грунта сдвигу по круглоцилиндрической поверхности» [СП 20.13330.2016].

«Таким образом, в случае круглоцилиндрической поверхности скольжения ($r = \text{const}$) коэффициентом запаса можно назвать отношение суммы сил предельного сопротивления сдвигу к сумме действующих по поверхности скольжения реактивных касательных напряжений» [СП 20.13330.2016].

При совместном решении уравнений (2.21) и (2.22) получим:

$$K_{уст} = \frac{r \sum \tau_{i\text{lim}} \Delta s_i}{M_{act}} = \frac{r \sum (\sigma_i \text{tg} \varphi_i + c_i) \Delta s_i}{M_{act}} \quad (2.17)$$

где σ_i -нормальные напряжения по поверхности скольжения в случае перехода по ней грунта в предельное состояние; φ_i -угол внутреннего трения; c_i -сцепление грунтов, имеющих на участке кривой скольжения Δs_i .

«Вся система сил, действующих на скелет грунта, должна быть взаимно уравновешена. Однако возможных в условиях рассматриваемой плоской задачи трех уравнений равновесия будет недостаточно для определения всех перечисленных выше неизвестных величин. Таким образом, в принятой постановке задача является статически неопределимой. Поэтому приходится вводить дополнительные физические представления о силах взаимодействия элементов по вертикальным граням, сводящихся по существу к принятию определенных величин напряжений σ_i и закономерности их определения по поверхности скольжения. Предлагались самые различные схемы сил взаимодействия и использовались разные уравнения равновесия, что привело к многочисленным вариантам окончательного решения задач, т.е. приведения ее к статически определимой схеме» [Аксенов Н.В. и др., 2014].

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Формирование экологической безопасности накопителей техногенного сырья производится непосредственно при проектировании,

строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений, и оценивается по масштабам нанесенного ущерба окружающей среде.

2. Условия эксплуатации хвостохранилищ в условиях со средними минусовыми отрицательными температурами за год определяется не типичным климатом, совместным распространением мерзлых и талых грунтов различного генезиса, сложным гидрогеологическим и активным развитием геологических условий и процессов, что в свою очередь вызывает необходимость принятия оригинальных методов исследований, технологий эксплуатации, обеспечивающих промышленную и экологическую безопасность техногенных массивов в природной окружающей среде.

3. Реализация исследований основывается на принципе комплексного обеспечения промышленной и экологической безопасности гидротехнического сооружения и включают совокупность последовательных решений.

4. Показан метод комплексного исследования состава, свойств техногенных грунтов-хвостов, типы их микроструктур и структурной модели.

5. Показано, что в условиях неопределенности или неполноты исходной информации можно решать задачи инженерно-геологических изысканий с применением теории нечетких множеств.

6. Получен алгоритм построения моделей изучаемых явлений и определены правила представления требуемой информации.

7. Для выполнения расчетов устойчивости гидротехнических сооружений предложена постояннодействующая математическая модель на базе программного комплекса «UFOS». Данный подход реализует возможность оперативного изменения технологии эксплуатации при влиянии на факторы, определенные в данной главе.

ГЛАВА 3. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ НАМЫВА С РАСЧЕТАМИ УСТОЙЧИВОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Исследования, выполненные в настоящем разделе, были направлены на решение следующих задач:

- Определение типа микроструктуры и структурной модели хвостов;
- Обоснование физической модели для изучения технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища;
- Изготовление экспериментального образца для моделирования технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища;
- Проведения лабораторных испытаний по установлению и оптимизации технологических параметров намыва.

3.1 Определение типа микроструктуры и структурной модели хвостов

Результаты анализа гранулометрического состава грунтов, полученные микроагрегатным, стандартным и дисперсным способами, представлены в Таблице 3.1:

Таблица 3.1 Результаты гранулометрического анализа грунтов

| Пробы | Тип подготовки образца | $M_{пс}^1$ | $M_{пс}^2$ | $M_{п}^1$ | $M_{п}^2$ | $M_{с}^1$ | $M_{с}^2$ |
|--------|------------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Хвосты | Агрегатный | 60,1 | 28,1 | 6,1 | 1,9 | 2,1 | 1,7 |
| | Полудисперсный | 51,4 | 26,9 | 12,2 | 1,1 | 5,7 | 2,7 |
| | Дисперсный | 49,2 | 30,1 | 8,3 | 2,4 | 6,8 | 3,2 |

Результаты определения гранулометрического состава использовались при расчете коэффициентов микроагрегатности ($K_{ма}$) для шести фракций по разности их содержаний при дисперсной и агрегатной подготовке образца (Таблица 3.2).

Таблица 3.2 Полученные коэффициенты микроагрегатности

| Наименование пробы | $K^{1-2}_{ма}$ | $K^{1-1}_{ма}$ | $K^{2-2}_{ма}$ | $K^{2-1}_{ма}$ | $K^{3-2}_{ма}$ | $K^{3-1}_{ма}$ |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Хвосты | 1,5 | 4,7 | 0,5 | 2,2 | 2,0 | -10,9 |

Основные параметры микростроения представлены в таблице 3.3

Таблица № 3.3 Структурные элементы грунтов

| Показатели, % | Хвосты |
|---------------|--------|
| A | 1,5 |
| A1 | 10,9 |
| A2 | -2,0 |
| A3 | -2,2 |
| A4 | -0,5 |
| A5 | -4,7 |
| M1 | 49,2 |
| M2 | 28,1 |
| M2-A | 2,0 |
| M3 | 8,3 |
| M3-A | 2,2 |
| M4 | 1,9 |
| M4-A | 0,5 |
| M5 | 2,1 |
| M5-A | 4,7 |
| M6 | 1,7 |
| M6-A | 1,5 |
| M7 | 3,2 |
| M8 | 10,0 |
| M9 | 8,4 |
| M11 | 13,3 |
| F1 | 100 |
| F2 | 93 |
| F3 | 79 |
| F4 | 79 |
| F5 | 31 |
| F6 | 53 |

Примечание: м/с – микроструктура, А - общее количество агрегатов, в том числе A^{1-5} - 250-500, 50-250, 10-50, 2-10, 1-2 мкм; M^{1-5} - количество первичных частиц тех же размеров, M^6 - количество первичных частиц < 1 мкм; M^{2-A} - M^{6-A} - количество частиц 50-250, 10-50, 2-1 и < 1 мкм в составе агрегатов; M^7 – общее количество (первичных и в составе агрегатов) частиц < 1 мкм; M^8 - общее количество (первичных и в составе агрегатов) частиц < 2 мкм; F^1-F^6 - коэффициенты свободы, рассчитанные для фракций 250-500, 50-250, 10-50, 2- 10, 1-2 и < 1 мкм.

По данным гранулометрического анализа при дисперсной и агрегатной подготовке образца проводились расчеты коэффициентов

микроагрегатности, общего количества агрегатов, их размера; количества и размера первичных частиц, количества частиц той же размерности, входящих в состав агрегатов; коэффициентов свободы каждой фракции. Кроме того, определялись типы микроструктур и структурной модели грунта. В результате было установлено, что намывные грунты характеризуются следующими типами структурных моделей (Таблица 3.4).

Таблица № 3.4 Типы микроструктуры и структурной модели грунта

| № образца | Глубина, | А (%) | Тип микр-ы | Тип структурной модели грунта | | | M ⁷ | F ⁶ | M ⁸ |
|-----------|----------|-------|------------|-------------------------------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | X ¹ | G ¹ | 82,0 | | | |
| Хвосты | 0,0 | 10,9 | Ск | 60,1 | G ¹ | 82,0 | 3,2 | 53 | 10,0 |

Общее содержание (первичные частицы + частицы в составе агрегатов) представлено в таблице 3.5.

Таблица 3.5 Содержание частиц

| № образца | Глубина, м | M ^{2A} | F ² | M ^{3A} | F ³ | M ^{4A} | F ⁴ | M ^{5A} | F ⁵ | M ^{6A} (M ⁷) | F ⁶ |
|-----------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|----------------|
| Хвосты | 0,0 | 30,1 | 93 | 10,5 | 79 | 2,4 | 79 | 6,8 | 31 | 3,2 | 53 |

Проведенные исследования свойств намывных хвостов позволили установить, что они представлены супесями, содержание средне-крупнопесчаной фракции (>0,25 мм) составляет 49,2%, тонко-мелкопесчаной фракции (0,25-0,05 мм) - 30,1%. Количество глинистых частиц составляет 10,0%. По общему количеству агрегатов установлена агрегированно-скелетная микроструктура. Тип структурной модели **X¹ 60,1 G¹ 82,0** средне-крупнопесчаный (преобладают средне-крупнопесчаные структурные элементы), элементарный.

3.2 Физические и физико-химические свойства намывных грунтов

Результаты исследований показали, что техногенные грунты - хвосты обогащения Норильских месторождений имеют свои характерные особенности строения, состава и свойств.

Для определения показателей физических и физико-химических свойств грунтов использовались воздушно-сухие образцы, а также были

изготовлены искусственные образцы-пасты, которые рассматривались в качестве модели техногенной толщи. При изготовлении паст влажность выбиралась в зависимости от величины предела пластичности. Седиментационный объем относится к числу классификационных показателей при установлении типов потенциально плавунных грунтов.

Результаты исследований, выполненных по стандартным методикам представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 Показатели физических и физико-химических свойств грунтов

| Грунт | ρ_s | W_L | W_P | I_P | V | φ_1 | φ_2 | D_j | $E_{об}$ |
|--------|----------|-------|-------|-------|-----|-------------|-------------|-------|----------|
| Хвосты | 2,62 | 31,9 | 27,6 | 4,9 | 2,5 | 19,2 | 15,8 | 7,2 | 12,3 |

Примечание: ρ_s – плотность минеральной части грунта, г/см³; W_L , W_P , I_P – верхний, нижний пределы пластичности, число пластичности, %; V – седиментационный объем, см³; φ_1 , φ_2 – угол естественного откоса на воздухе и под водой, град.; D_j – величина изменения угла, град.; $E_{об}$ – емкость катионного обмена грунта, мг-экв на 100 г вещества.

3.3 Физико-математическое моделирование процесса намыва хвостохранилища

«В математической, знаковой модели исследуемые процессы и явления представляется в виде схем, графиков, формул. Все выкладки содержат некоторую схематизацию происходящих явлений, что приводит к соответствующей неопределенности или неточности результатов. Оценкой правомерности той или иной схематизации является сравнение результатов, полученных на модели с данными натурных наблюдений.

Устройство, на котором представлено явление того же рода, что и явление, характеристики которого требуется предсказать, называется физической, предметной моделью» [Ершов, Гарагуля, 1987].

Научный анализ в инженерно-геологических исследованиях все больше основывается на физико-математическом моделировании, когда результаты физико-механических процессов объединяются с результатами математического моделирования. В физическом моделировании, как

известно, большую роль играет теория подобия. Его основное положение: адекватность модели и объекта обеспечивается только при совпадении всех однотипных определяющих критериев подобия в сходных точках моделей и объектов.

«В пределах изучаемого объекта можно выделить области, для исследования которых целесообразно применить разные способы моделирования» [Бутюгин, Шкода, 2000]. Такие сочетания принято называть «гибридным моделированием».

Решение подобной задачи моделирования намыва хвостохранилища значительно упростится, если не рассматривать общий случай движения жидкости по поверхности пляжа, а максимально использовать конкретные данные наблюдений на исследуемом объекте. Такой подход обязательно предполагает построение физической модели, с заложением в нее свойств и особенностей, присущих только этому объекту

В дополнение к вышесказанному при моделировании необходимо учесть особенности применяемой технологии намыва.

При движении пульпы по поверхности пляжа происходит фракционирование хвостов и в результате, на ближних к пульпопроводу участках оседают более крупные хвосты, а на дальних от пульпопровода – более мелкие. Из крупных хвостов, по сути своей являющихся мелкозернистыми песками, дамба намывается быстро, а мелкие хвосты – пески пылевато-глинистые и супеси, в силу низкой водоотдачи удерживают в себе большой объем воды и обладают малым углом естественного откоса. Поэтому на этих участках наращивание дамбы происходит медленнее.

Запуск насосной станции ПНС-3 и переход работы на напорный режим распределительных пульпопроводов, обеспечил равномерную подачу хвостов по всему фронту намыва.

В дополнение к вышесказанному при моделировании необходимо учесть особенности применяемой технологии намыва – для задержания максимального количества твердых частиц в пляжной зоне используется

кольцевая шлаковая отсыпка на некотором расстоянии от оси распределительного пульпопровода.

Именно эти особенности применяемой технологии эксплуатации на данном объекте стали основополагающими при разработке принципа построения физико-математической или, более правильно, гибридной модели процесса намыва ограждающей дамбы хвостохранилища №2.

3.3.1 Расчет устойчивости техногенного массива

В соответствии с методологическими подходами, обоснованными в главе 2 на первом этапе получена модель и дана оценка несущей способности ограждающей дамбы на базе теории нечетких множеств [Отчет...2012].

Входными переменными определены следующие факторы:

X_1 – функция угла откоса дамбы;

X_2 – функция высоты дамбы;

X_3 – функция плотность хвостов;

X_4 – функция температурного состояния тела дамбы;

X_5 – функция гранулометрического состава хвостов;

X_6 – функция ширины пляжа.

В качестве зависимой переменной Y выбрано значение коэффициента устойчивости.

В нечетком виде переменные представлены следующим образом [Отчет...2012; Оганесян А.Х.,2013]:

X_1 определяется по формуле:

$$X_1 = \frac{x_1 - 27}{18} \quad (3.1)$$

где x_1 – угол откоса дамбы в градусах;

X_2 определяется по формуле:

$$X_2 = \frac{x_2 - 37}{27} \quad (3.2)$$

где x_2 - высота дамбы, м.

X_3 определяется как функция гранулометрического состава хвостов. При этом $X_3 = -1$ для глинистых фракций, $X_3 = 0$ для смешанных фракций, $X_3 = +1$ – для песчаных фракций.

X_4 определяется как функция температурного состояния тела дамбы. $X_4 = -1$ для талого состояния, $X_4 = 0$ для промежуточного состояния (талое с мерзлыми включениями или наоборот), $X_4 = +1$ – для мерзлого состояния.

X_5 определяется как функция давления подземных грунтовых вод. $X_5 = -1$ при отсутствии давления, $X_5 = 0$ при наличии гидростатического давления, $X_5 = +1$ – при наличии пьезометрического давления

X_6 определяется по формуле:

$$X_6 = \frac{x_6 - 150}{100}, \quad (3.3)$$

где x_6 – ширина пляжа, м.

В кодированном виде факторы входных лингвистических переменных представлены на рисунке 3.1.

Далее была сформирована матрица опроса в виде полного факторного эксперимента типа 2^{n+1} где n – количество входных лингвистических переменных [Лолаев А.Б., 2001].

Результирующее уравнение имеет вид:

$$\begin{aligned} Y = & 1,36 - 0,11X_1 - 0,05X_2 + 0,04X_3 + 0,08X_4 - 0,05X_5 + 0,03X_6 - \\ & - 0,03X_1X_2 + 0,02X_1X_4 - 0,02X_2X_6 + 0,04X_3X_5 + 0,04X_4X_5 - \\ & - 0,02X_4X_6 + 0,05X_5X_6 + 0,02X_2X_3X_4 - 0,03X_2X_3X_5 + 0,03X_3X_4X_5 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Где Y – значение коэффициента устойчивости

Расчеты значений коэффициента устойчивости по уравнению (3.4) были выполнены для хвостохранилища №2 ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель».

За базовое сечение был принят наиболее характерный пикет - 28 (ПК-28) ограждающей дамбы, с наиболее уязвимой зоной для аварии.

Коэффициент запаса устойчивости $k_{уст}$ для данного сечения равен 1,45.

Для проверки расчетов были использовалась теория математического планирования эксперимента, с идентичными переменными X .

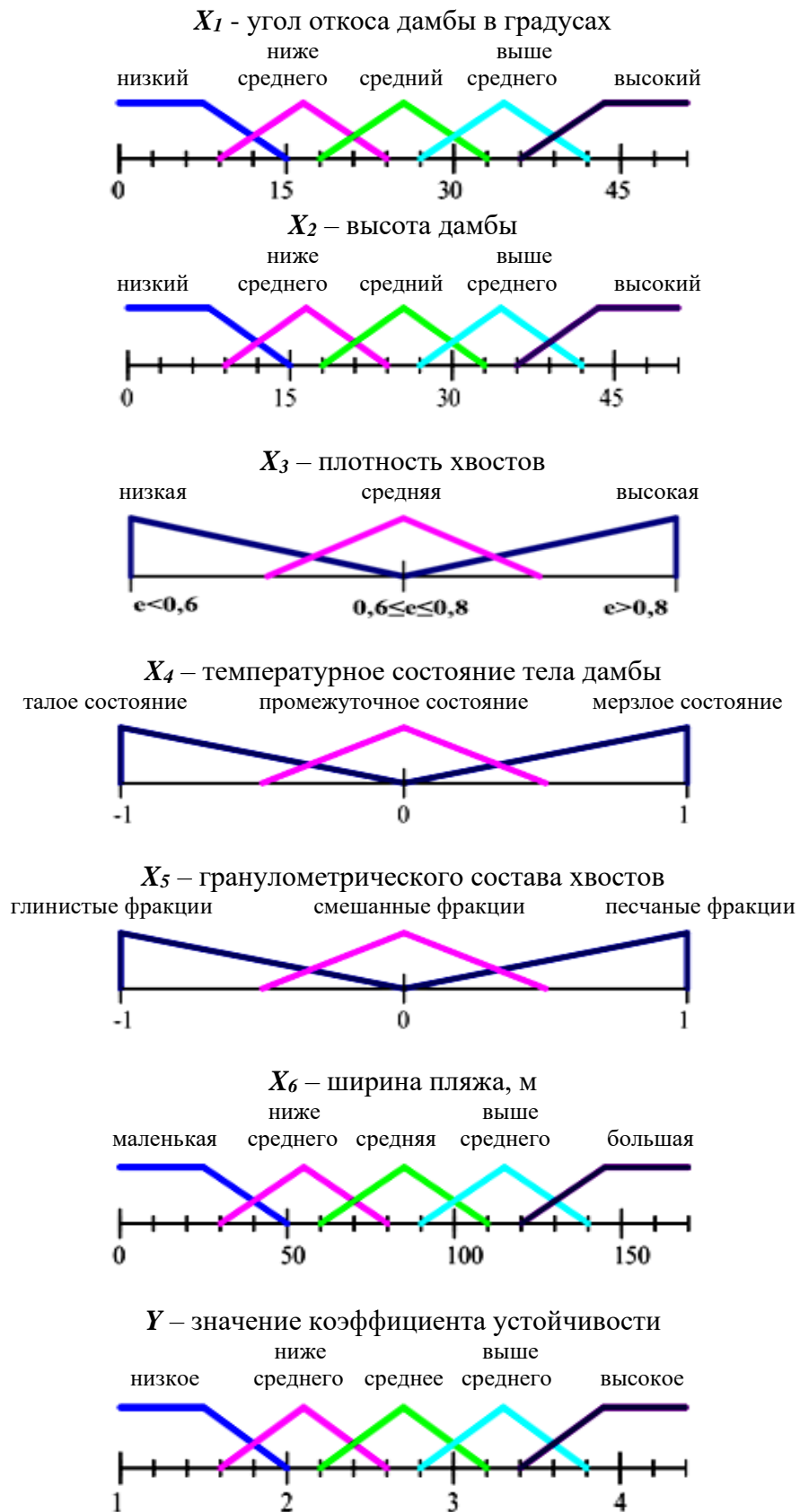


Рис. 3.1. Характеристики дамбы в кодированном виде.

В итоге получено:

$$k_{уст} = 1,51 - 0,223X_1 - 2,115 \cdot 10^{-3}X_2 + 0,052X_3 - 6,111 \cdot 10^{-3}X_4 - 0,051X_5 + 8,212 \cdot 10^{-4} \cdot X_6 \quad (3.5)$$

Значение коэффициента устойчивости для того же створа дабы (ПК - 28) составило $k_{уст} = 1,49$.

3.4 Обоснование физической модели для изучения технологии намыва ограждающей дамбы

Запуск насосной станции ПНС-3 стал основополагающим при разработке принципа построения физико-математической или, более правильно, гибридной модели процесса намыва ограждающей дамбы хвостохранилища №2.

При этом основным принципиальным положением при теоретическом обосновании данной модели намыва стало: *«в первом выпуске наиболее крупной фракции хвостов содержится столько же, сколько и в последующих»*.

В общем виде, это положение будет выглядеть так:

«На i -том выпуске i -той фракции содержится столько же, сколько и на остальных».

Аналитически подобное утверждение описывается функцией [Шкода, 2000]:

$$y(x, i) = -|x - i| + n \quad (3.6)$$

где $y(x, i)$ – функция распределения i -той фракции по выпускам,

n – число выпусков, $x \in [1, n]$ – текущий выпуск.

После нормирования функции $y(x, i)$:

$$g(x, i) = \frac{y(x, i)}{\sum_{x=1}^n y(x, i)} \quad (3.7)$$

получим процентное распределение i -той фракции по выпускам, т.к.

$$\sum_{x=1}^n g(x, i) = 1.$$

Окончательно задача формулируется так: по известной кривой гранулометрического состава хвостов и, предположительно, известной зависимости расхода пульпы через выпуск определить гранулометрический состав хвостов в каждом выпуске и рассчитать объем хвостов, поступающий на пляж на каждом из выпусков.

3.5 Принцип построения и критерии подобия физической модели

Критерии подобия для задач такого типа в настоящее время достаточно подробно рассмотрены [Лятхер, Прудовский, 1984]. В вязкой жидкости тензор напряжений $\{\sigma_{i,j}\}$ принимается линейной функцией от тензора скоростей деформаций $\{v_{ij}\}$. При рассмотрении двухфазных потоков, к уравнениям, описывающим движение частицы, должны быть добавлены уравнения движения жидкости, краевые условия на границах области и на контактах между частицами и жидкостью, условия взаимодействия частиц между собой и с границей области. Однако, если допустить, что эти условия не содержат новых размерных констант или функций, то критерии подобия геометрически подобных частиц в геометрически подобных объемах получаются следующими:

$$\begin{aligned} N = \text{idem}; & \quad \rho/\rho_s = \text{idem}; \\ d_{cp}/l_0 = \text{idem}; & \quad F(d) = \text{idem}; \\ l_0 U_0/\nu = \text{idem}; & \quad U_0^2/(gd_{cp}) = \text{idem}. \end{aligned}$$

Здесь $F(d)$ – гранулометрическая кривая для смеси из N частиц; ρ – плотность несущего компонента; ρ_s – плотность материала частицы; d_{cp} – средний диаметр частицы; l_0 – длина участка; U_0 – скорость потока; ν – вязкость потока; g – ускорение свободного падения; “idem” – значит, “одинаковый” (для модели и для природы).

На этапе физического моделирования, пульпа рассматривается, как квазиоднофазная вязкая среда (дисперсоид), а наличие хвостов учитывается лишь на этапе математического моделирования. «Если размеры и скорости

на модели не слишком малы, то влиянием вязкости и капиллярности можно пренебречь» [Рауз, 1967].

В этом случае, в качестве дисперсоида допускается использование воды, а при оценке параметров модели критерий Фруда является определяющим [Ричардсон, 1965].

Условием подобия модели и природы было принято равенство чисел Фурье природы (n – параметры объекта) и модели (m – параметры модели)

$$F_n = F_m \quad (3.8)$$

Согласно [Розовский, 1969] соотношения геометрических размеров и объёмов природы и модели находятся в зависимостях:

$$L_m / L_n = B_m / B_n = H_m / H_n \quad (3.9)$$

$$V_m / V_n = (L_m / L_n)^3 \quad (3.10)$$

А временные соотношения природы и модели находятся в соотношениях:

$$\tau_m / \tau_n = (L_m / L_n)^2 \quad (3.11)$$

где L , B , H – геометрические размеры ; V – объём ; τ – время ; индексы m и n - обозначения модели и системы прототипа.

При проектировании модели намыва ограждающей дамбы хвостохранилища был выбран геометрический масштаб подобия 1:100, тогда при известном расходе в натуральных условиях и равенстве критериев Fr на модели и в природе, расход на модели должен составлять [Чугаев, 1982]:

$$Q_m^M = Q_n^H \cdot \left(\frac{1}{100} \right)^{\frac{5}{2}} = 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot Q_n^H \quad (3.12)$$

Из натуральных наблюдений известно, что, намыв при фронте 900 м до уровня отложений в пляжной зоне 0,5 м ведется в среднем около 14 дней. Тогда время на модели, исходя из формулы (3.11), составит:

$$\tau_m / \tau_n = (L_m / L_n)^2 = \tau_m / 14 * 24 * 3600 = (1/100)^2;$$

$$\text{отсюда } \tau_m = 14 * 24 * 3600 / 100^2 = 120,96 \text{ сек};$$

Намыв моделируется на фронт в 3 выпуска (75 метров в природе). При такой ширине фронта намыва хвосты в природе займут объем равный:

$$V_n = 1 * b * h = 100 * 75 * 0,5 = 3750 \text{ м}^3$$

где l – длина пляжа; b - ширина пляжа; h – высота намываемого слоя.

Тогда, исходя из масштабного коэффициента и формулы (3.13) получаем:

$$V_m / V_n = (L_m / L_n)^3 = V_m / 3750 = (1/100)^3$$

Отсюда
$$V_m = 3750 \cdot 100^3 = 0,00375 \text{ м}^3;$$

Согласно [Проект зимнего намыва..., 2008], плотность супеси в пляжной зоне составляет $1,66 \text{ т/м}^3$, а пылеватых отложений – $1,58 \text{ т/м}^3$. В расчет принимается осредненное значение, равное – $1,62 \text{ т/м}^3$. Тогда вес эквивалентного материала, принимаемого для моделирования должен составить:

$$m = V \cdot \rho = 0,00375 \cdot 1,62 = 0,006075 \text{ т} = 6,075 \text{ кг}$$

Согласно [Проект зимнего намыва..., 2008], таблица 2, отношение твердой фазы к жидкой составляет: $1/3,08$.

Тогда требуемое для опыта количество воды должно составить:

$$Ж = Т \cdot 3,08; \quad (3.14)$$

Следовательно, при количестве твердой фазы $6,075 \text{ кг}$ количество жидкой фазы составит:

$$Ж = 6,075 \cdot 3,08 = 18,711 \text{ кг} = 18,711 \text{ л.}$$

Исходя из этих расчетов, моделирование намыва в $0,5$ метра на натуре на модели должно соответствовать 121 секунде, причем за это время из трех выпусков должно было пройти $18,711$ литра воды и $6,075 \text{ кг}$ песка с соответствующим хвостам гранулометрическим составом и намывать слой толщиной 5 мм .

Методика проведения экспериментов

На первом этапе, на физической модели будет продублирован процесс транспортировки пульпы по трубам, ее распределение по заранее заданным выпускам. Гранулометрический состав хвостов в выпуске задается постоянной величиной. Установившееся равномерное движение пульпы в

пульповоде возможно только при скоростях движения пульпы, равных или больших критической скорости.

На втором этапе, на модели дублируется процесс отложения хвостов на пляже при начальных условиях, полученных на первом этапе, и определяется картина формирования пляжа. Критерием правильности проведенного моделирования служат данные полевых наблюдений за динамикой намыва.

Конечным результатом данной работы будет построение физико-математической модели хвостохранилища, позволяющей после задания расхода и гранулометрического состава транспортируемой пульпы, участков намыва и расхода на каждом выпуске, получить:

- а) расход пульпы и грансостав хвостов на каждом выпуске,
- б) поперечный профиль распределения хвостов по намываемому участку пляжа

3.6 Конструкция установки для моделирования технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища

«Для моделирования процесса намыва была изготовлена модель хвостохранилища представляющая собой: лоток из органического стекла, с возможностью изменения уклона; пульпораспределительного зумпфа (распределительный пульпопровод), распределительных выпусков (d_y 25 мм), через которые производится намыв» [Патент, 2013].

На рис.3.2 приведена конструктивная схема модели – установки для намыва ограждающей дамбы хвостохранилища в лабораторных условиях.

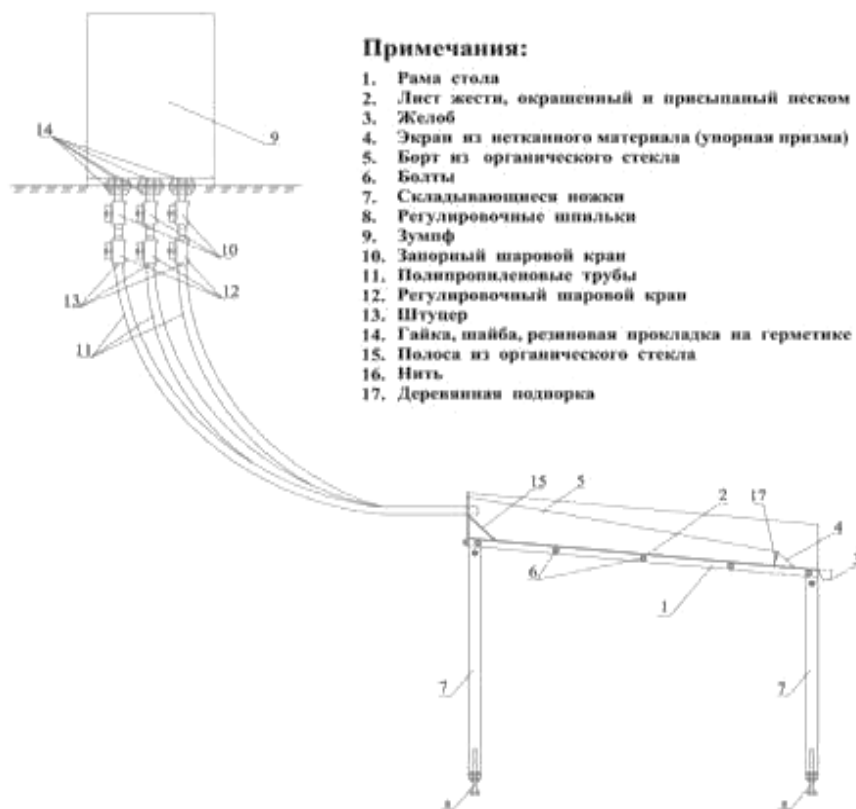


Рисунок 3.2 Лабораторная модель – установка

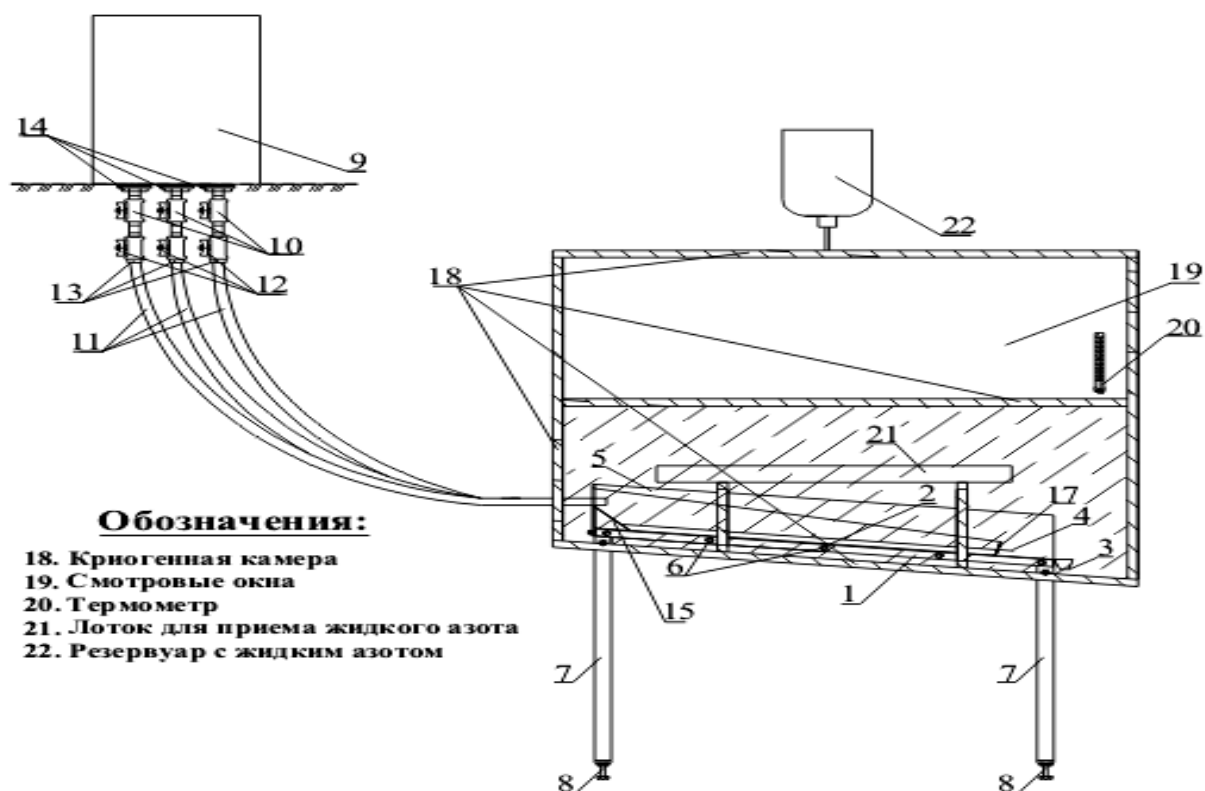
«В пульпораспределительном зумпфе (9) пульпа создается путем механического смешивания хвостов и воды до заданной плотности. Для моделирования турбулентности потока пульпы в зумпфе производится постоянное ее перемешивание. Управление объемами пульпы при намыве, на осуществляется шаровыми кранами (запорный - 10 и регулировочный -12), которые установлены на каждом из выпусков. С помощью регулировочного крана (12) изменяется расход, а запорный кран (10) предназначен для остановки подачи пульпы в выпуск. Регулировочный кран через штуцер (13) соединен с распределительными выпусками (гибкими полипропиленовыми трубками, (11), по которым пульпа поступает на стенд. Дренажная призма, применяемая в настоящее время на хвостохранилище "Лебяжье", выполнена из нетканого геотекстиля (4), который нитью (16) крепится к стенке стенда. Для придания экрану необходимого наклона устанавливаются деревянные подпорки (17)» [Патент, 2013].

Модель участка намыва изготовлена в масштабе 1:100 (Рисунок 3.3). Рельеф пляжной зоны хвостохранилища выполнен из тонкой жести (2),

окрашенного толстым слоем краски и покрытого слоем хвостов для придания поверхности пляжа неровностей, аналогичных натуре. Дренажная призма из нетканого геотекстиля устанавливается на расстоянии 100 см от выпусков. Уклон пляжа при проведении эксперимента (рисунок 3.2), составлял 1:50, что соответствует уклонам на натуре.

Для проведения моделирования зимнего намыва в конструкцию установки были внесены изменения. Стол установки был помещен в специально изготовленную криогенную камеру, оборудованную двумя смотровыми окнами. Обеспечение низких температур осуществлялось подачей в камеру жидкого азота (температура $-196,2^{\circ}\text{C}$). Для обеспечения равномерности распределения температур в камере жидкий азот подавался на лоток, установленный над зоной намыва.

Лабораторная установка для моделирования зимнего намыва ограждающей дамбы хвостохранилища представлена на рисунке 3.4.



Примечание: позиции 1-17 см. на рис. 3.2.

Рисунок 3.3 Лабораторная установка для моделирования намыва ограждающей дамбы в зимний период.

3.7 Лабораторные испытания для моделирования технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища

На данном этапе, на модели дублируется процесс отложения хвостов на пляже, и определяется картина формирования пляжа. Критерием правильности проведенного моделирования служат данные полевых наблюдений за динамикой намыва.

В соответствии с программой лабораторных испытаний определялись показатели, представленные в таблице 3.7. В этой же таблице представлены номинальные значения и предельные отклонения измеряемых величин в процессе испытаний.

При проведении намыва наблюдались следующие особенности. При намыве первого слоя, у выпусков наблюдались воронки, которые образовывались от струи пульпы, сразу за которыми можно было наблюдать отложения крупной фракции и формирование рельефа бугристого типа (рис. 3.5). Мощность намытого слоя у выпусков составила 3-10 мм (вымоины и бугры соответственно), что соответствует 0,3 – 1 метру на натуре. На расстоянии 50 – 100 см от выпусков мощность намытого слоя практически равномерная – 4-6 мм. Причем, увеличение мощности слоя наблюдается с приближением к упорному экрану.

Таблица 3.7 Номинальные значения и предельные отклонения измеряемых показателей в процессе испытаний

| № | Наименование показателя | Ед. изм. | Номинальное значение | Предельные отклонения |
|--|--|----------------|----------------------|-----------------------|
| 1. Определение геометрических характеристик дамбы | | | | |
| 1.1 | высота | мм | 20 | До 10% |
| 1.2 | угол откоса | град. | 45 | До 5% |
| 1.3 | длина пляжа | мм | 1000 | До 10% |
| 1.4 | уклон пляжа | град. | 1,8 | До 10% |
| 1.5 | толщина слоя намыва | мм | 5 | До 10% |
| 1.6 | ширина фронта намыва | мм | 750 | Не доп-ся |
| 2. Определение характеристик отходов | | | | |
| 2.1 | объем пульпы за цикл намыва | м ³ | 0,24 | ± 5% |
| 2.2 | фракция хвостов | мм | 0,01-0,7 | ± 5% |
| 2.3 | процентное содержание хвостов в пульпе | % | 25 | ± 5% |
| 2.4 | скорость движения пульпы в пульпопроводе | л/сек | 0,16 | ± 5% |
| 2.5 | скорость движения пульпы по пляжу | мм/сек | 100 | ± 5% |
| 3. Определение характеристик процесса намыва | | | | |
| 3.1 | время намыва | мин | 2,1 | ± 5% |
| 3.2 | процесс консолидации намывных хвостов на пляже | мин | 120 | ± 10% |
| 3.3 | температурные условия намыва | °С | 18 | ± 5% |

После намыва слоя делался перерыв на один день, затем намыв повторялся. При этом каждый последующий слой намывался на предыдущий.



Рисунок 3.4 -Воронки под выпусками и характер пляжа.

При намыве второго и последующего слоев наблюдалась приблизительно такая же картина. В итоге после намыва четырех слоев мощность намывтого слоя у выпусков составила 7 -25 мм (рис. 3.5), на расстоянии 40 – 80 см от выпусков 19 - 21 мм (рис. 3.6), а у экрана - 25 мм (Рисунок. 3.7). Общий вид намываемого пляжа, представлен на рис. 3.8 и 3.9.

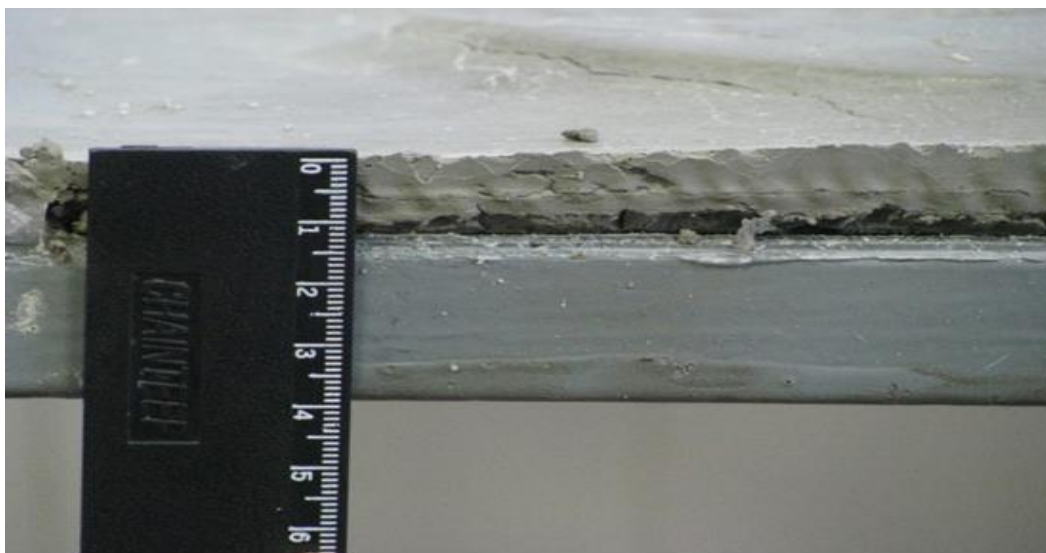


Рисунок 3.5 Намытый слой хвостов около выпуска.

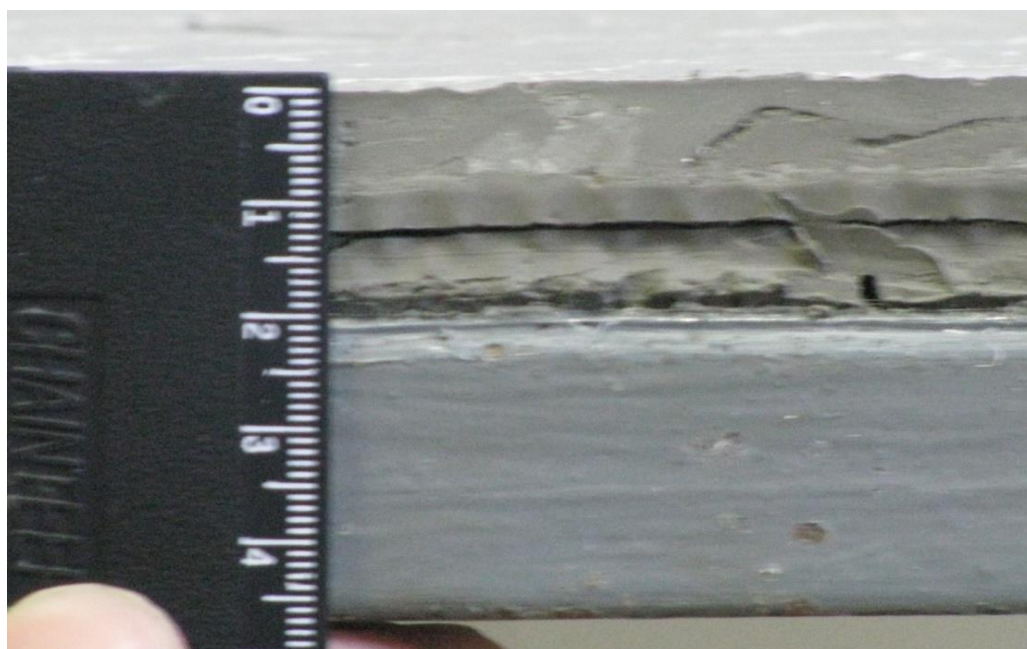


Рисунок 3.6 Намытый слой на расстоянии 40 – 80 см от выпусков.

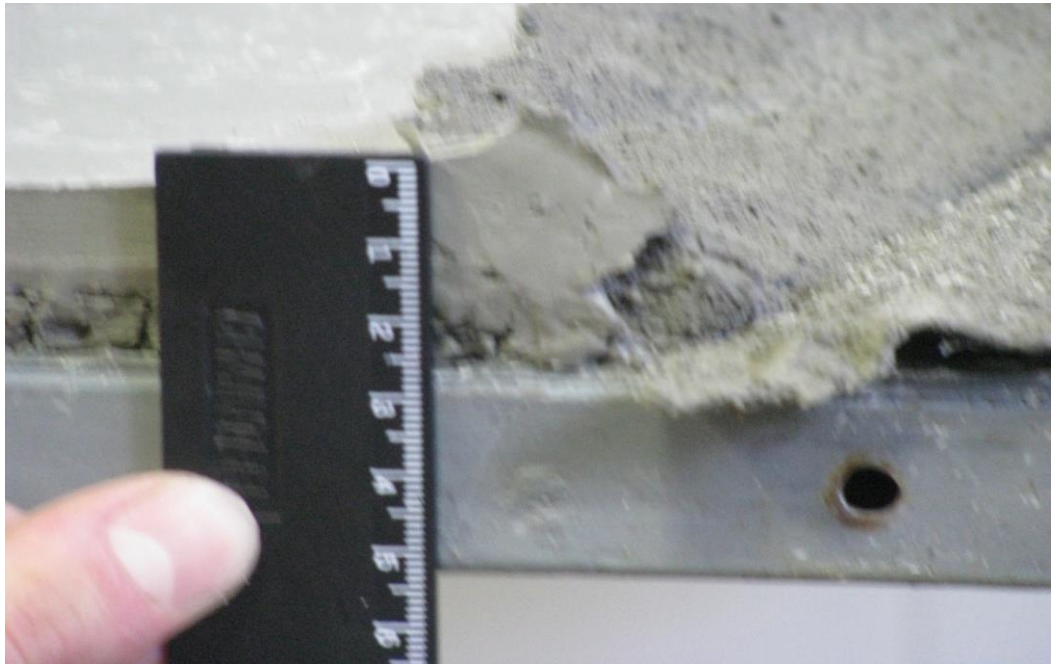


Рисунок 3.7 Намытый слой непосредственно у дренажной призмы (экрана из геотекстиля)

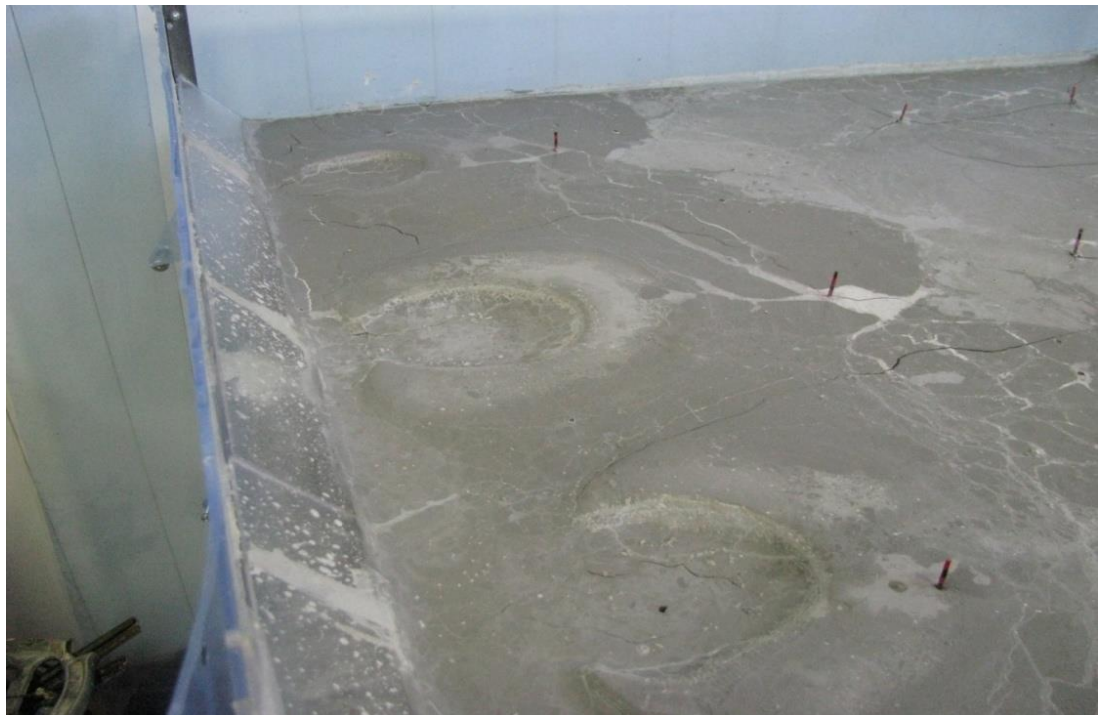


Рисунок 3.8 Общий вид намытого пляжа у выпусков.

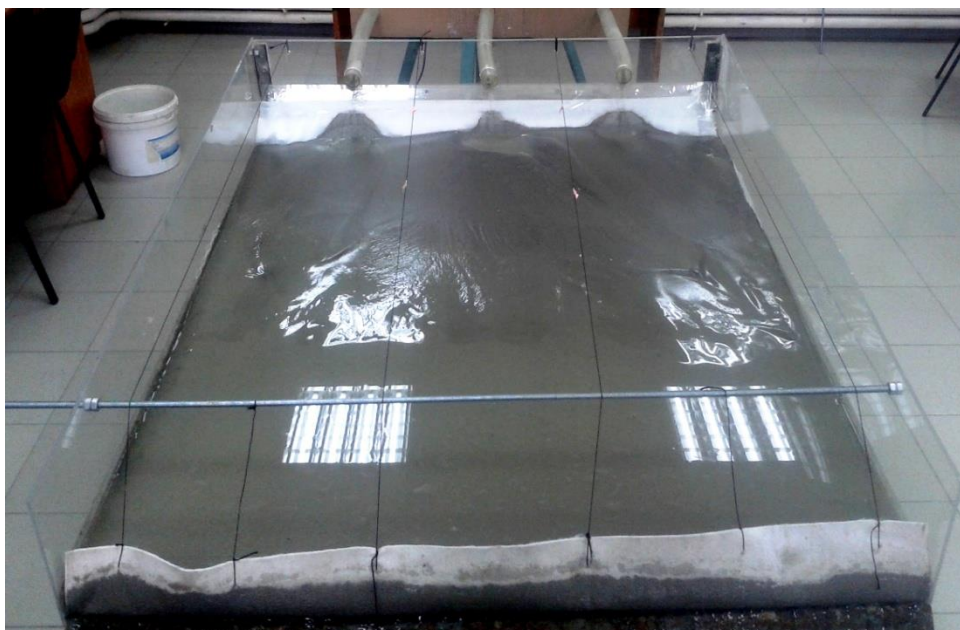


Рисунок 3.9 - Общий вид намывого пляжа

Значения геометрических характеристик дамбы полученные в результате 5 циклов намыва представлены в табл.3.8

Таблица 3.8 Результаты по определению геометрических характеристик дамбы

| Кол-во циклов намыва | Наименование геометрических характеристик дамбы | | | | | |
|----------------------|---|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Высота, мм | Угол откоса, град | Длина пляжа, мм | Уклон пляжа, град | Толщина слоя намыва, мм | Ширина фронта намыва, мм |
| 1 | 5 | 45 | 1000 | 1,8 | 5 | 750 |
| 2 | 10 | 45 | 980 | 1,8 | 5 | 750 |
| 3 | 15 | 45 | 960 | 1,8 | 5 | 750 |
| 4 | 20 | 45 | 940 | 1,8 | 5 | 750 |
| 5 | 25 | 45 | 920 | 1,8 | 5 | 750 |

Характеристики испытаний, связанные с поступающими объемами хвостов и их технологическими параметрами, представлены в таблицах 3.9 и 3.10.

Таблица 3.9 - Результаты по определению характеристик отходов

| Кол-во циклов намыва | Наименование характеристик отходов | | | |
|----------------------|---|---|--|--|
| | Объем пульпы за цикл намыва, м ³ | Процентное содержание хвостов в пульпе, % | Скорость движения пульпы в пульпопроводе, л/сек. | Скорость движения пульпы по пляжу, мм/сек. |
| 1 | 0,24 | 25 | 0,16 | 100 |
| 2 | 0,23 | 25 | 0,16 | 95 |
| 3 | 0,24 | 25 | 0,16 | 97 |
| 4 | 0,25 | 25 | 0,16 | 92 |
| 5 | 0,24 | 25 | 0,16 | 90 |

Таблица 3.10 - Результаты определения характеристик процесса намыва

| Кол-во циклов намыва | Наименование характеристик процесса намыва | | |
|----------------------|--|--|----------------------------------|
| | Время намыва, мин. | Время консолидации намывных хвостов на пляже, мин. | Температурные условия намыва, °С |
| 1 | 2,1 | 120 | 18 |
| 2 | 1,99 | 127 | 18 |
| 3 | 2,0 | 130 | 18 |
| 4 | 2,1 | 131 | 18 |
| 5 | 2,0 | 135 | 18 |

По мере удаления от оси распределительного пульпопровода установлено постепенное уменьшение дисперсности намывных хвостов: средневзвешенный диаметр намывных хвостов (d_{cp}) изменяется от 0,49 мм у

выпуска, 0,437 мм на расстоянии (L) 50 м; и до $d_{cp} = 0,349$ мм при $L = 100$ м (Рисунок. 3.10).

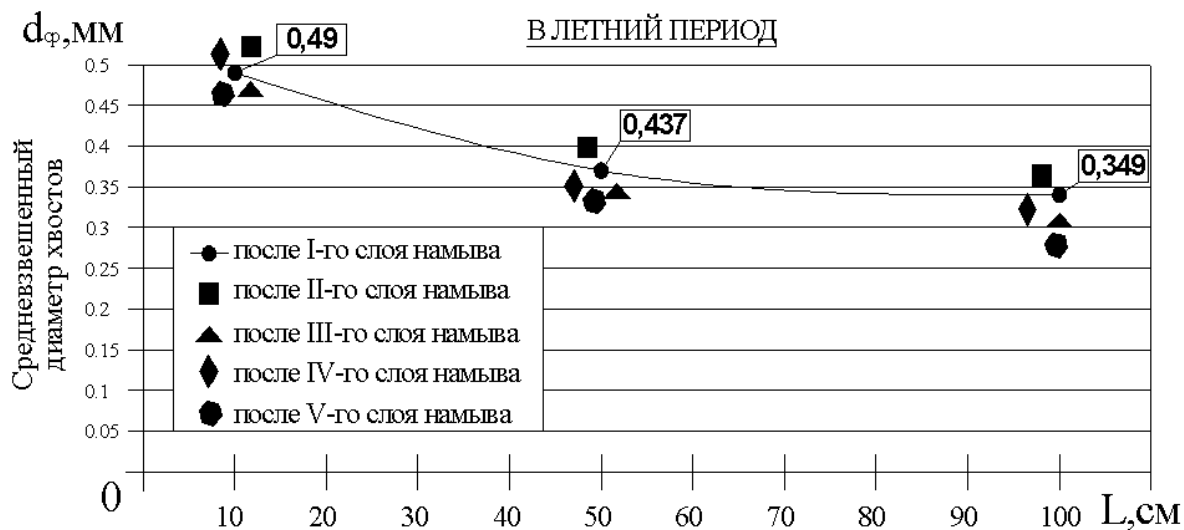


Рисунок 3.10. График распределение хвостов по отдалению от оси пульпопровода.

Далее было исследовано влияние технологических параметров намыва на характер распределения хвостов по пляжу хвостохранилища.

На рисунках 3.11-3.13 представлены графики распределения хвостов по пляжной зоне ограждающей дамбы хвостохранилища при различных соотношениях жидкой фазы к твердой в пульпе.

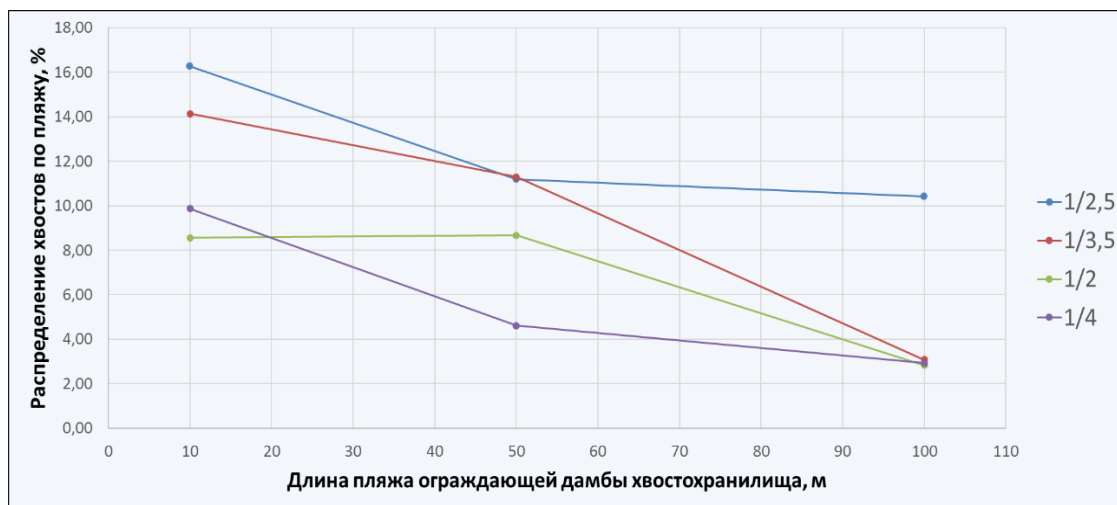


Рисунок. 3.11. Диаметр частиц намывных хвостов 0,63 мм.

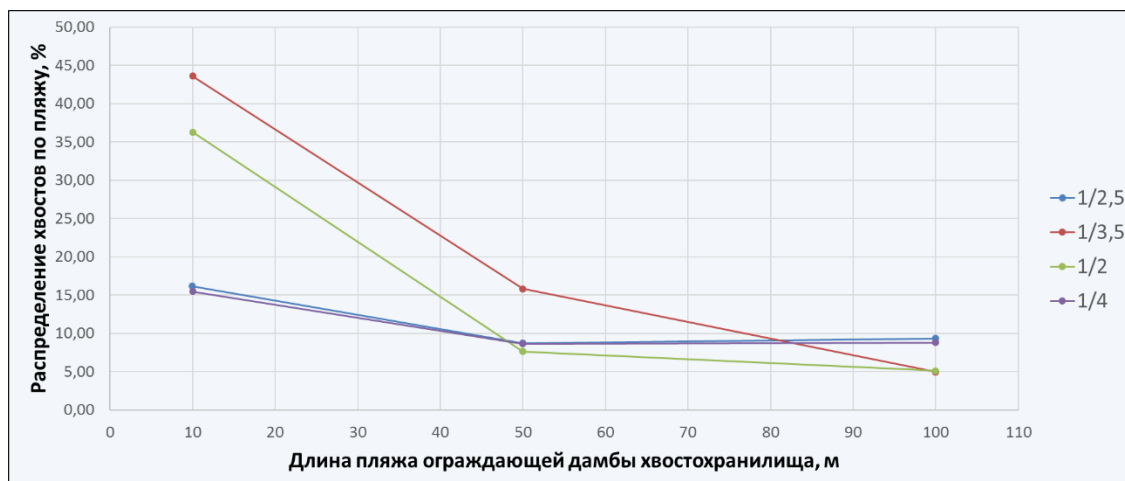


Рисунок. 3.12. Диаметр частиц намытых хвостов 0,2 мм.

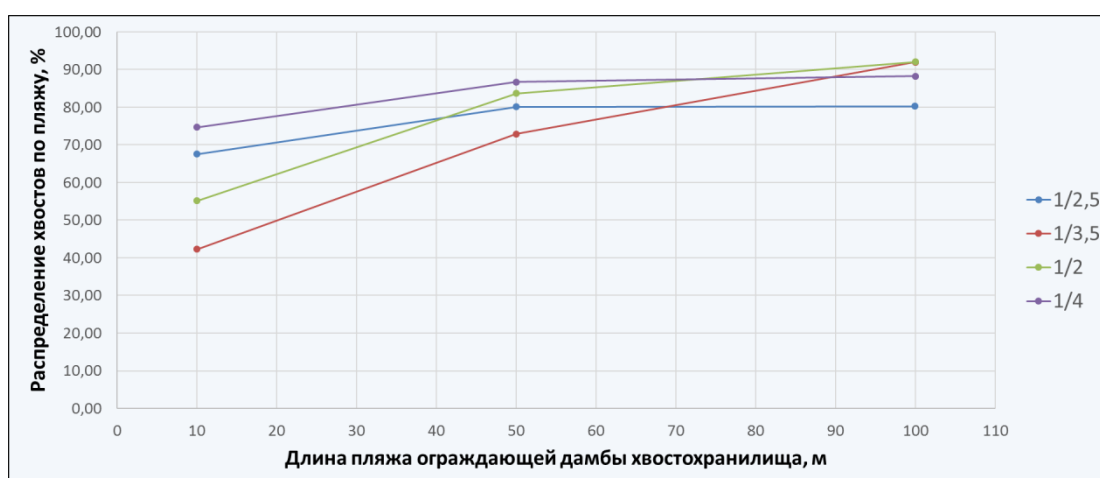


Рисунок. 3.13. Диаметр частиц намытых хвостов 0,05 мм.

Из графиков, представленных на рисунках 3.11-3.13 следует, что при различных соотношениях жидкой фазы к твердой в пульпе частицы с большей крупностью оседают вблизи пульпопровода, а мелкие частицы неравномерно распределяются по пляжу.

На рисунках 3.14-3.16 представлены графики распределения хвостов по пляжной зоне ограждающей дамбы хвостохранилища при различных скоростях движения пульпы и при различных соотношениях жидкой фазы к твердой. Опираясь на эти результаты были получены полиномиальные линии тренда распределения хвостов по пляжной зоне с оптимальной консистенцией пульпы (соотношении жидкой фазы к твердой) при разных скоростях ее движения (Рисунок 3.17-3.19).

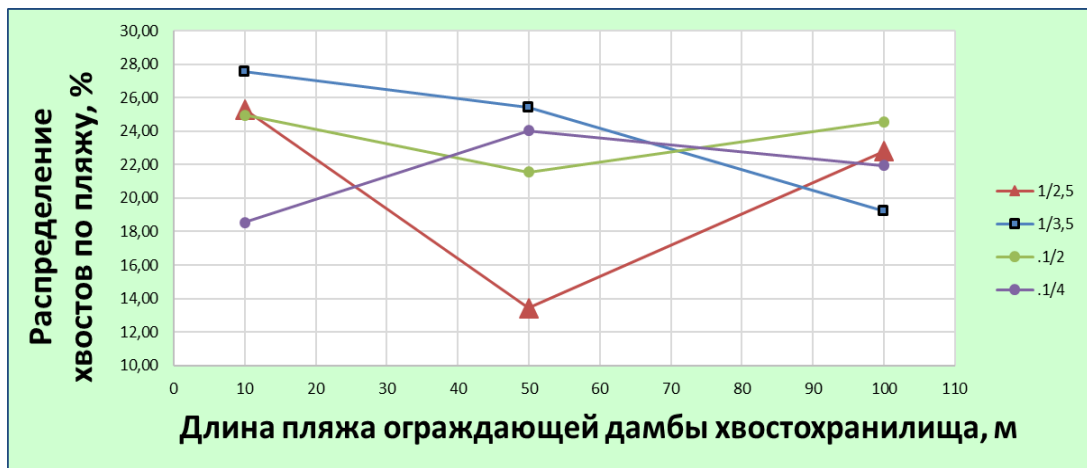


Рисунок. 3.14 Значение распределения средневзвешенных диаметров частиц по пляжу при постоянной скорости ($v=3,91$ м/с) и различных соотношениях.

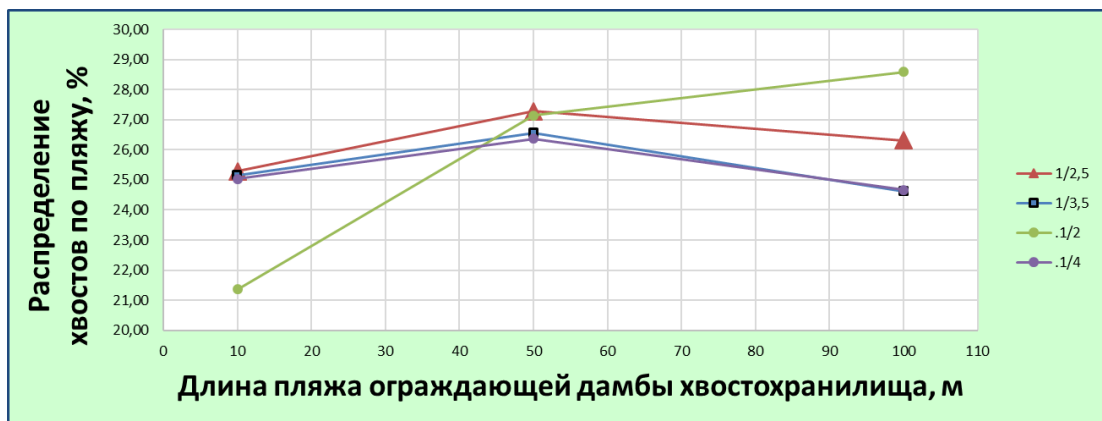


Рисунок. 3.15 Значение распределения средневзвешенных диаметров частиц по пляжу при постоянной скорости ($v=4,05$ м/с) и различных соотношениях.

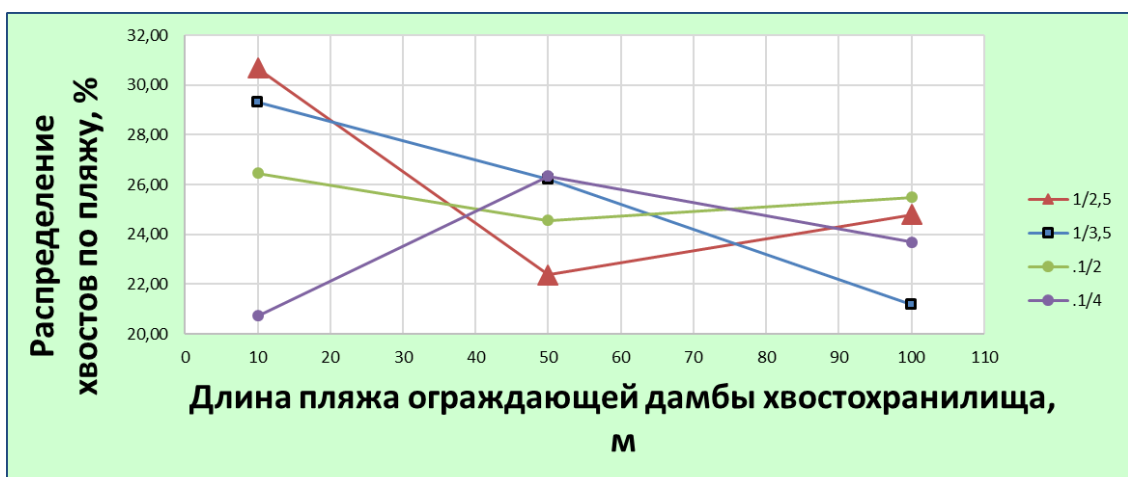


Рисунок. 3.16 Значение распределения средневзвешенных диаметров частиц по пляжу при постоянной скорости ($v=4,31$ м/с) и различных соотношениях.

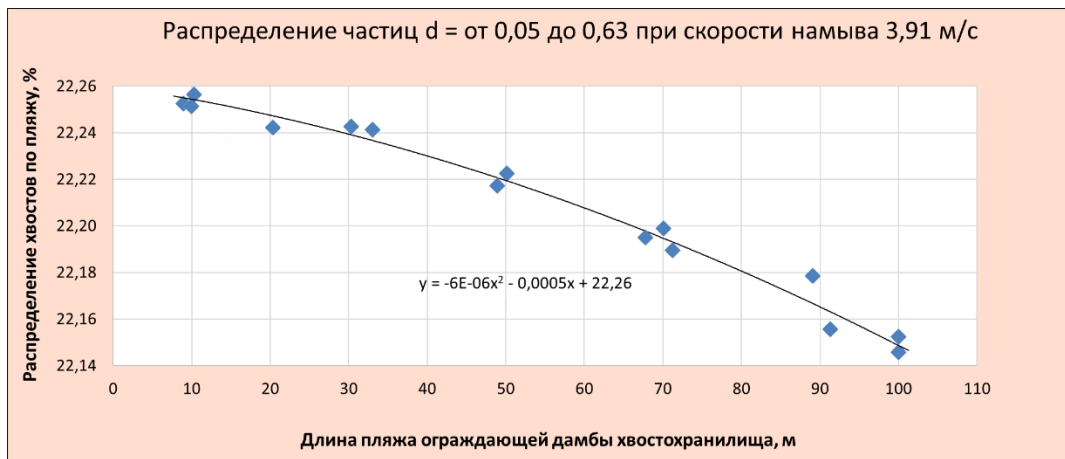


Рисунок. 3.17 Распределение хвостов по пляжной зоне в зависимости от скорости движения пульпы ($v = 3,91$ м/с)

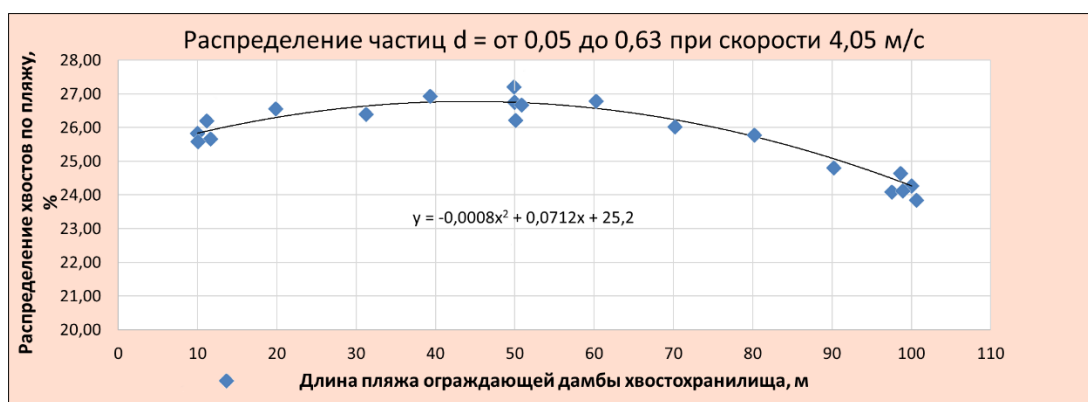


Рисунок. 3.18 Распределение хвостов по пляжной зоне в зависимости от скорости движения пульпы ($v = 4,05$ м/с)

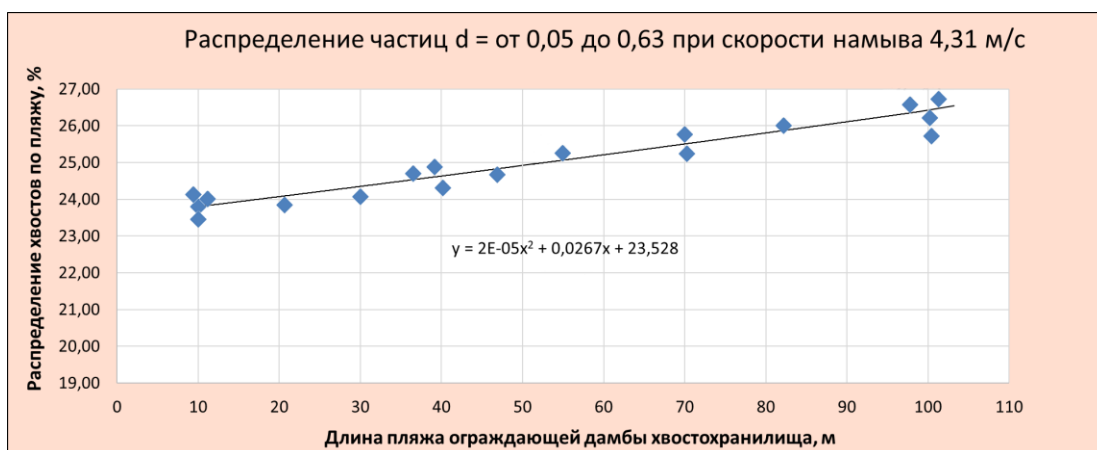


Рисунок. 3.19 Распределение хвостов по пляжной зоне в зависимости от скорости движения пульпы ($v = 4,31$ м/с)

С целью определения влияния исследуемых технологических параметров на равномерность распределения хвостов по пляжу были

рассмотрено распределение хвостов на створах 10 м, 40 м и 70 м от распределительного пульпопровода (Рисунок 3.20).

Из данных представленных на рисунке 3.20 можно сделать вывод о том, что равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы (соотношение жидкой фазы к твердой) находятся в квадратичной зависимости от скорости движения пульпы, высоты расположения пульпопровода и средневзвешенного диаметра частиц.

В совокупности эти параметры будут являться доминирующими при любой ставящейся задаче увеличения устойчивости определенного участка пляжа за счет перераспределения хвостов.

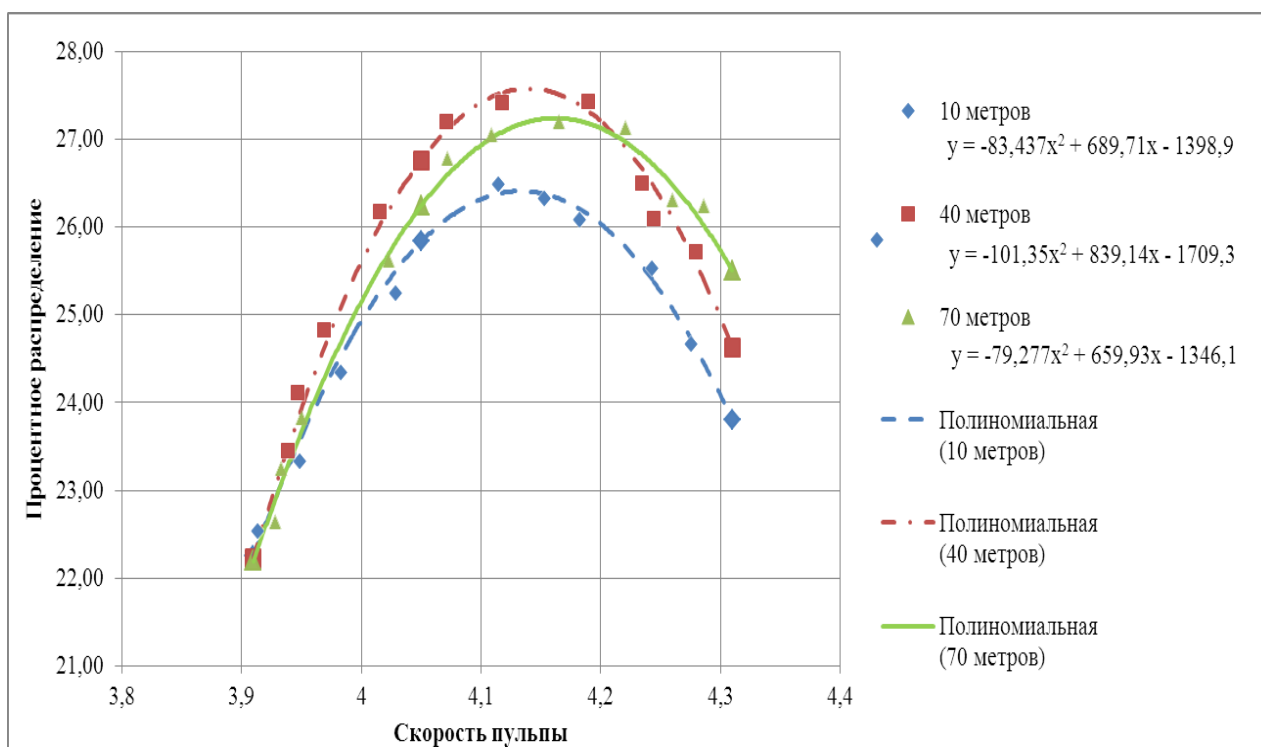


Рисунок 3.20 Равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы.

3.8 Моделирование устойчивости ограждающей дамбы

На этапе проектирования при расчетах устойчивости предусматривают запас прочности и устойчивости сооружений, а при изменении технологии эксплуатации, ведутся поверочные расчеты. Однако отсутствует прогнозное расчетное обоснование устойчивости сооружения. В связи с этим

возникающие аварии на хвостохранилищах, как правило, являются неожиданными.

«Для обеспечения процесса расчетного сопровождения экологической безопасности хвостохранилищ в эксплуатационном режиме разработана методика моделирования различных ситуаций, которые могут возникнуть на хвостохранилище в процессе его эксплуатации: изменение заложения низового откоса и параметров пляжа, изменение физико-механических свойств хвостов, увеличение высоты сооружения и т.д.» [Лолаев и др., 2010, 2011].

На ограждающей дамбе хвостохранилища выбирается расчетное сечение, на котором по фактическим параметрам строения дамбы и свойствам грунтов тела и основания проводится базовый расчет устойчивости (Рисунок 3.21).

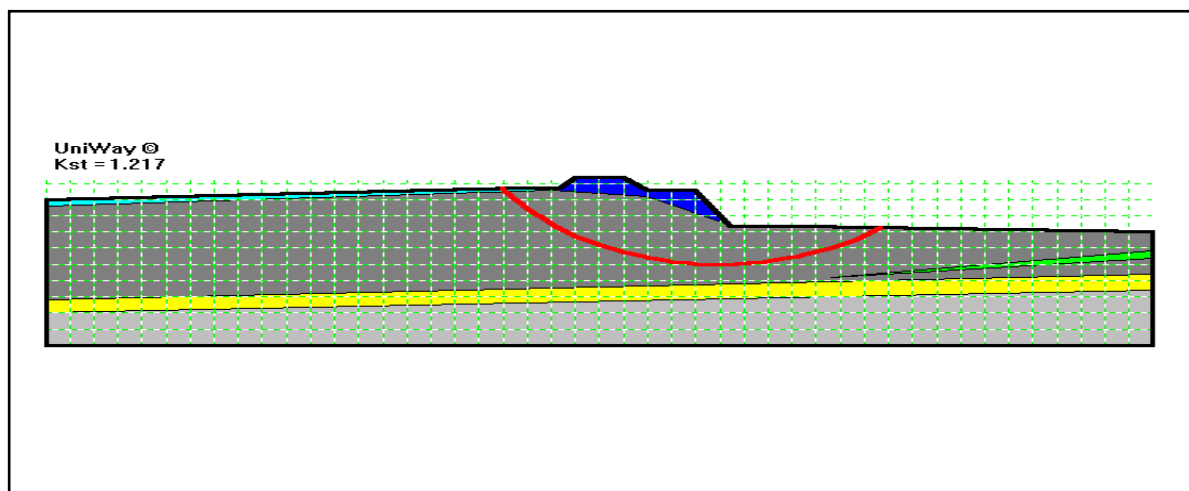


Рисунок. 3.21 Базовый вариант расчета устойчивости ($K_{уст} = 1,22$)

Для установления влияния изменений физико-механических свойств на устойчивость, в расчетной схеме снижали значения удельного сцепления и угла внутреннего трения грунтов, слагающих тело дамбы (Рисунок 3.22).

Анализ результатов показал пропорциональную зависимость изменения коэффициента устойчивости от физико-механических свойств грунта, при этом удельное сцепление является более важным параметром, определяющим устойчивость, чем угол внутреннего трения.

С целью оценки влияния длины пляжа на устойчивость ограждающей дамбы были выполнены три варианта расчетов при длине пляжа 150, 100 и 50 метров. Значения коэффициента устойчивости $K_{уст}$ изменяются от 1,03 для первого варианта до 1,02 для второго и третьего (Рисунок 3.23)

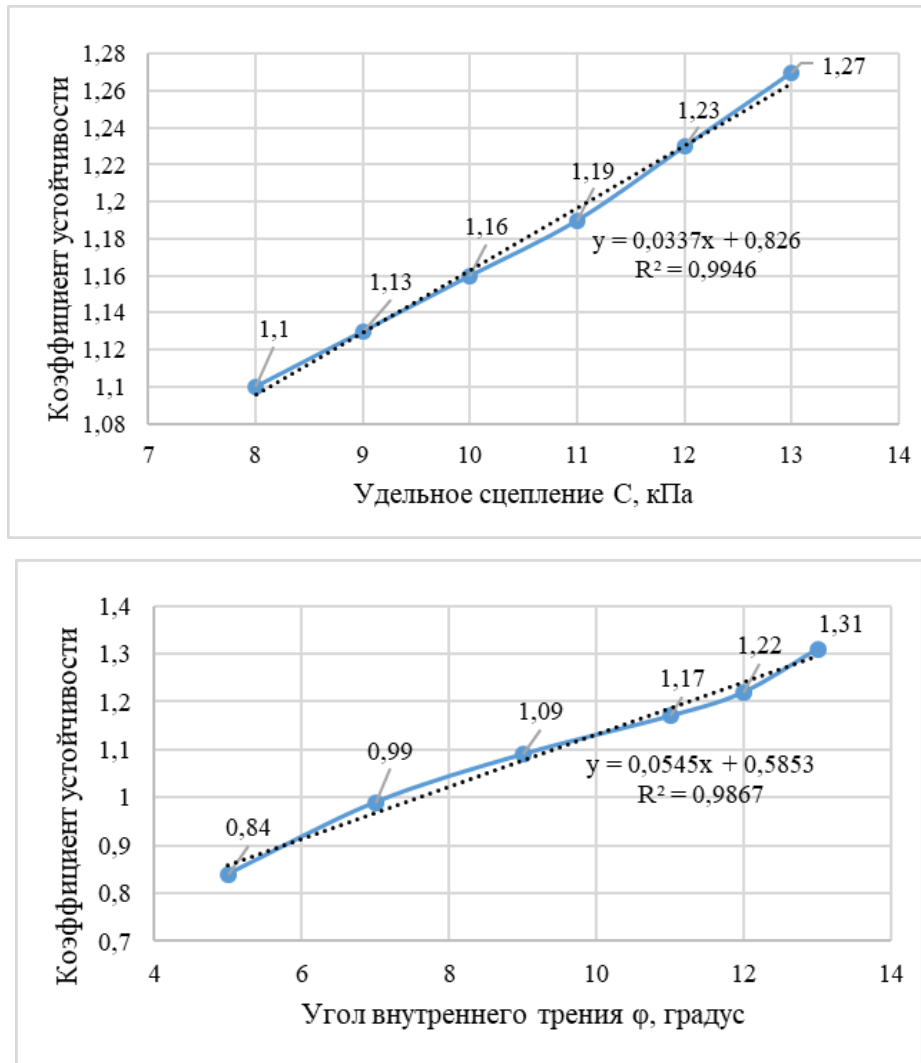


Рисунок 3.22. Влияние прочностных характеристик хвостов на коэффициент устойчивости ограждающей дамбы

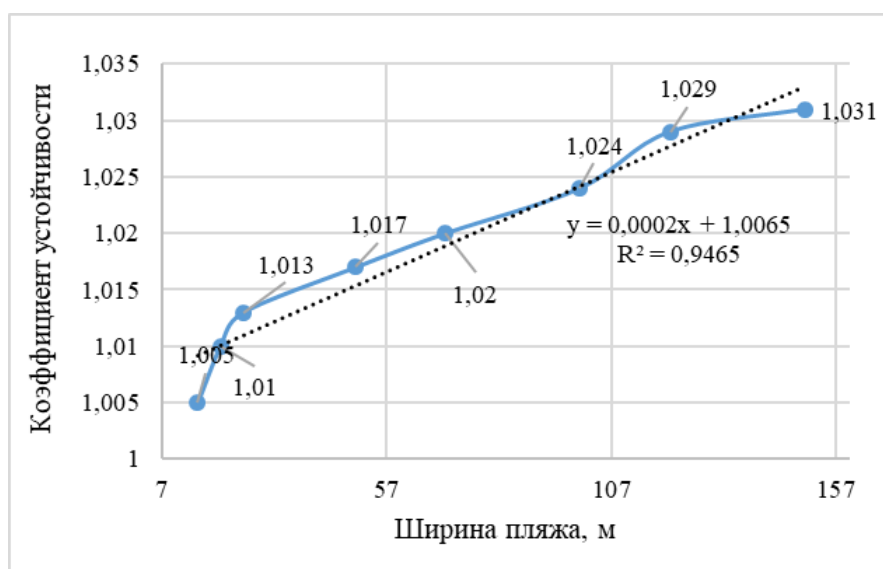


Рисунок 3.23 Влияние длины пляжа на коэффициент устойчивости ограждающей дамбы

Закономерности изменения устойчивости ограждающей дамбы от ее конструктивных параметров: высоты и крутизны низового откоса приведены на рисунках 3.24 и 3.25.

Результаты расчетов показывают, что при одинаково заданных исходных данных увеличении высоты дамбы приводит к значительному снижению коэффициента ее устойчивости.

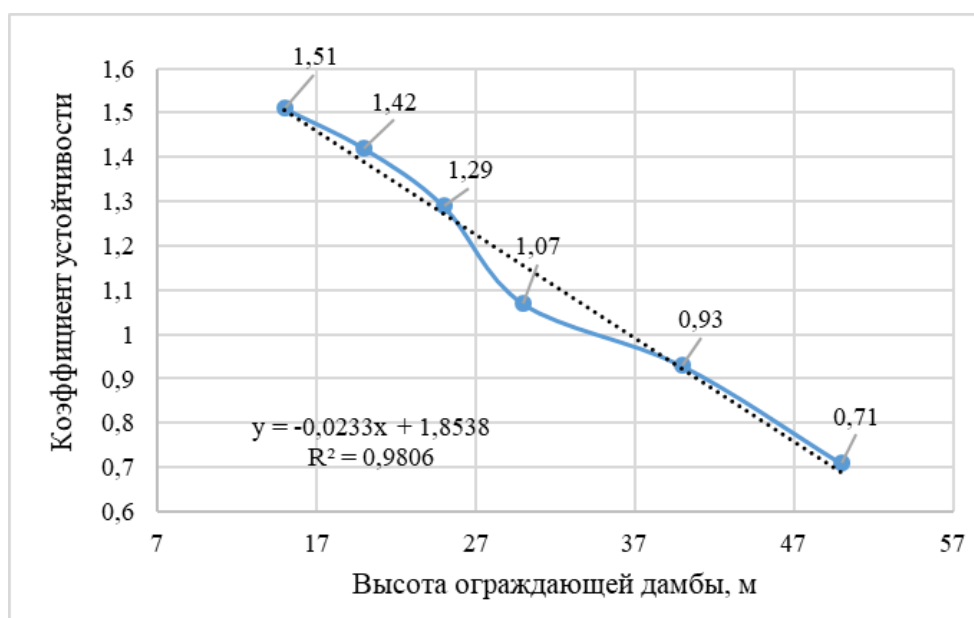


Рисунок 3.24 Изменение коэффициента устойчивости при увеличении высоты ограждающей дамбы

Такая же закономерность прослеживается и при увеличении крутизны низового откоса (рис. 3.25).

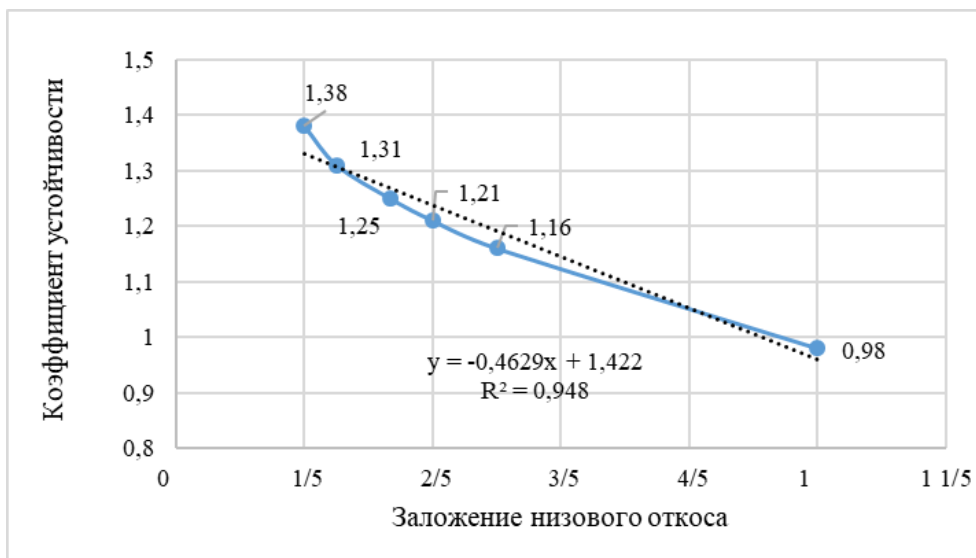


Рисунок. 3.25 Характер снижения устойчивости дамбы при увеличении заложения низового откоса

Закономерности изменения устойчивости ограждающей дамбы от плотности хвостов представлены на рисунке 3.26.

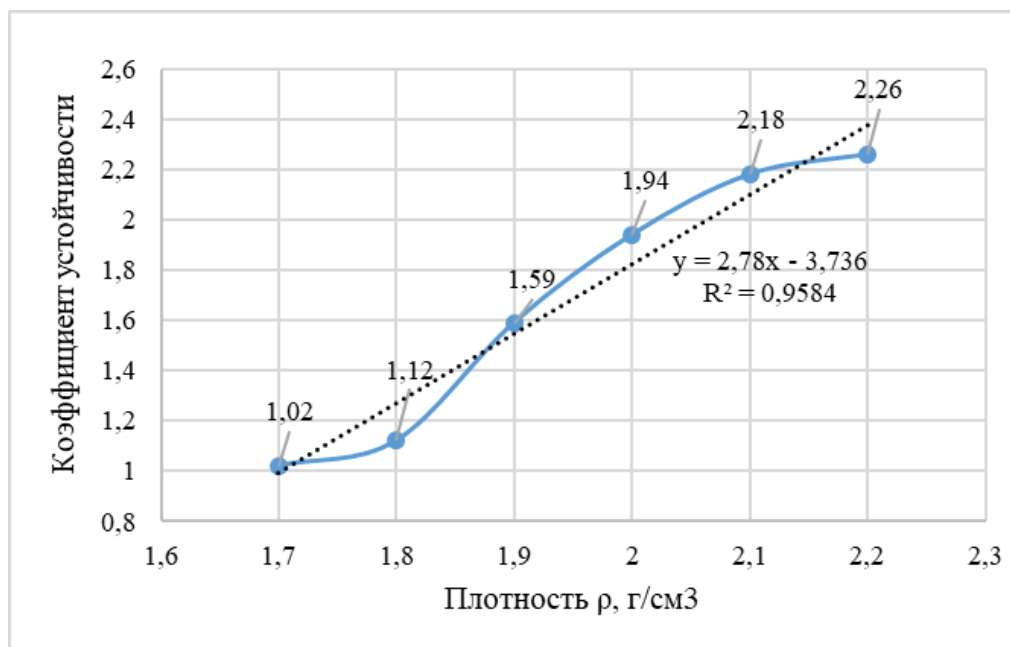


Рисунок 3.26 Изменение коэффициента устойчивости при увеличении плотности хвостов

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

Таким образом, выполненный комплекс лабораторных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Установлены параметры намыва и физико-химических свойств техногенных грунтов, основные виды микроструктур и типы контактов между структурными элементами, которые обеспечивают формирование однородного строения и плотного сложения массива для сохранения его устойчивости.
2. Разработаны, обоснованы основные принципы, определены критерии подобия и изготовлена физическая модель процесса формирования ограждающей дамбы хвостохранилища №2.
3. Разработана и обоснована методика физического моделирования намыва с учетом технологических параметров формирования ограждающих конструкций хвостохранилища.
4. Осуществлено физико-математическое моделирование процесса намыва ограждающих конструкций хвостохранилища №2, которое допускает использование при эксплуатации сооружения.
5. Равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы (соотношение жидкой фазы к твердой) находится в квадратичной зависимости от скорости движения пульпы, высоты расположения пульпопровода и средневзвешенного диаметра частиц.
6. Установлены основные закономерности влияния на безопасность сооружения состава и свойств хвостов, конструктивных параметров ограждающих конструкций, технологических процессов эксплуатации, намывных техногенных массивов.
7. Коэффициент устойчивости ограждающей дамбы техногенного массива линейно зависит от геометрических параметров дамбы,

прочностных характеристик намываемых частиц и степени их уплотнения.

8. В результате испытаний было выявлено достаточно близкое сходство процесса намыва пляжа в натуре и на модели, что подтверждает правильность использованных при моделировании критериев подобия и хода проведения эксперимента.

ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА №2 ЗФ ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ»

4.1. Разработка программы и проведение натуральных наблюдений намыва дамбы хвостохранилищ

4.1.1. Методика исследований

В задачи полевых экспериментов входило проведение натуральных исследований:

- Режимные наблюдения за намывом;
- Оборудование экспериментальных участков для проведения натуральных апробаций способов намыва;
- Проведение испытаний и разработка оптимального способа намыва.

Исследования проводились комплексно и выполнялись в неразрывной связи с работами, проводимыми гидротехнической службой УНСОФ, ЦГТС и ГТ ПООФ, ППП "Норильскгеология". При этом в основу разработки технологии опережающего наращивания ограждающей дамбы были положены основные принципы технологии строительства ограждающей дамбы, разработанной ЦГТС и ГТ ПООФ и применяемой в настоящее время.

В комплекс полевых работ входили: визуальные наблюдения, геодезические работы, отбор проб для лабораторных исследований и определение физико-механических свойств намывных хвостов.

Визуальные наблюдения

При визуальных наблюдениях определялось состояние откосов и гребня дамбы, наличие деформаций. Определялось состояние опорной призмы распределительного пульпопровода, устанавливались места размывов около выпусков и застойные участки, оценивалось формирование пляжа и фильтрация через кольцевую внутреннюю отсыпку.

Геодезические наблюдения.

Геодезические наблюдения включали: разбивку и вынос на местность

створов для изучения интенсивности намыва на различных участках пляжа, промеры глубин прудковой зоны хвостохранилища, наблюдения за ростом гребня дамбы, измерение осадок и смещений распределительного пульпопровода. Геодезические наблюдения проводились совместно с работниками гидротехнической службы УНСОФ.

Для наблюдений за интенсивностью намыва на участке ограждающей дамбы (ПК 41 – ПК 69) были выставлены мерные деревянные рейки, окрашенные в красный и белый цвет, с ценой деления 10 см. С помощью нивелира определялось расстояние до установленной вешки с точностью 0,5 м, а после замера углов на верх рейки и точку прилегающих хвостов определялась абсолютная отметка намытых хвостов. Расчеты проводились по формулам:

$$H_i = H_n \pm h, \quad (4.1)$$

$$\pm h = \sin \pm \alpha \times D/2 + i - V, \quad (4.2)$$

где $\pm \alpha$ - вертикальный угол, D – расстояние, измеренное нитяным дальномером, i – высота инструмента над точкой стояния, V – высота наведения средней нити на рейку (при наведении на прилегающие хвосты $V=0$).

Промеры глубин прудковой зоны имели целью установление закономерностей распределения хвостов после зимнего складирования, и определение объемов хвостов намытых под воду на различных участках летнего намыва и зимнего складирования.

Для ориентировки лодки в определенном направлении движения, на западной стороне хвостохранилища, вдоль левой нитки пульпопровода (ПК 13 - ПК24) была проложена линия створных пикетов. На каждом пикете, под углом 90° , устанавливался створный знак. Расстояние между основным пикетом и створным знаком составляло 30-60 м.

При выполнении съемки профиля распределительного пульпопровода для установления динамики возможных деформаций гребня ограждающей

дамбы использовался нивелир 2НЗЛ №08078 , 4-х метровые складные нивелирные рейки с сантиметровыми делениями, а так же стальная 30–ти метровая рулетка Р-30. Перед выполнением топогеодезических работ, проводились полевые поверки нивелира.

Наблюдения за технологией намыва и исследование качества намываемых хвостов.

Исследования включали наблюдения за распределением намываемого материала на поверхности пляжа, интенсивностью намыва и консолидацией хвостов во время отдыха пляжа. «Для оценки качества укладки хвостов в тело дамбы производился отбор проб из пляжной зоны образцов как нарушенного, так и ненарушенного сложения. Одновременно производилась геодезическая съемка поверхности пляжа по мерным рейкам, установленным до начала намыва и визуально фиксировалось состояние пляжа. Съемка поверхности пляжа по мерным рейкам, установленным до начала намыва и визуально фиксировалось состояние пляжа» [НИИ ВОДГЕО, 1976, 1986].

«Пробы отбирались на различном расстоянии от места выпуска пульпы по длине пляжа, по заранее разбитым створам (см. выше) с глубины 0,15-0,20 м согласно методике, изложенной в работе НИИ ВОДГЕО. Для отбора проб ненарушенного сложения использовались стальные кольца с внутренним диаметром 70 мм и высотой 60 мм, а также оборудование полевой лаборатории Литвинова ПЛЛ - 9. Образцы нарушенного сложения отбирались в полиэтиленовые мешки с одновременным отбором образца в бюксу на влажность. Отбор проб производился также из выпусков распределительного трубопровода» [НИИ ВОДГЕО, 1976, 1986].

4.1.2. Оборудование экспериментальных участков для проведения испытаний для разработки оптимального способа намыва хвостохранилища

Основными задачами натуральных наблюдений и исследований за процессом возведения грунтовых плотин хвостохранилищ являются: проведение визуальных и инструментальных наблюдений за процессом намыва, процессом консолидации пульпы, развитием во времени осадок, деформаций оснований и откосов, распределение хвостов по пляжу и скоростью консолидации.

Контроль над процессом возведения грунтовых плотин хвостохранилищ входит составной частью в единый комплекс визуальных и инструментальных натуральных наблюдений для определения их эксплуатационной надежности и безопасности. Наблюдения позволяют устанавливать и контролировать:

- количество намываемого материала на сектор.
- качество консолидации грунта в плотине при строительстве и степень однородности (или неоднородности) тела плотины по плотности сложения грунта.
- роль основания в общем процессе деформаций и напряженного состояния тела плотины, отдельных ее элементов и участков основания;
- отдельные фактические характеристики грунта тела плотины и основания (например, модуль общей деформации) для проверки достоверности расчетов сооружения и оценки общей картины деформирования объектов наблюдений.

Процесс наблюдения должен состоять из следующих пунктов:

1. выполнение визуальных наблюдений
2. обследование с проведением простейших инструментальных измерений, позволявшие оценить состояние пляже до намыва
3. исследование намывных грунтов в зоне пляжа
4. оценка дамбы на наличие фильтрационных процессов

Натурные исследования проводятся на характерных участках намыва разбитых на сектора по 500-1200м, Целью исследований является решение вопроса об эффективности процесса намыва, и возможности изменения технологии намыва.

Для получения эффективных и информационно достоверных результатов визуальных наблюдений, является выполнение следующих требований:

- строгая периодичность осмотров
- идентичность фиксации признаков консолидации и обнаруженных недостатков намыва (табличными и графическими методами регистраций данных, описания и т.д.)
- четкая привязка места наблюдения к геодезической сети
- наличие данных об и уровнях воды в прудке, глубине прудка и о мерзлом режиме в период, предшествовавший проведению наблюдений.

Выводы, вытекающие из результатов визуальных наблюдений, являются основанием для проведения исследований в натурных условиях в сочетании с определением в лабораторных условиях прочностных и деформационных показателей материала намыва, геотехнических характеристик грунта тела сооружения.

На основании результатов обследования должны быть сделаны выводы о возможности дальнейшей эксплуатации технологии намыва сооружений или необходимости изменения технологии намыва.

Перед началом натурных наблюдений на хвостохранилище №2 была проведена оценка состояния геодезической сети. Сравнены геодезические высотные основы по факту с проектными значениями. По проекту эксплуатации определен объем поступающих хвостов на хвостохранилище. Исходя из конструктивных особенностей накопителя, было принято решение о проведении наблюдений на пикетах ПК 5-14; ПК 33'-38' ПК 42-47; ПК 49-60; ПК 73-78.

На выбранных створах были выполнены следующие мероприятия:

- первичный визуальный осмотр

- оценка состояния геодезической сети
- подготовка к нивелировке плоскости пляжа в зоне намыва
- установлены нивелирные геодезические знаки плановые знаки, контрольные марки (реперы) и вешки.
- определены углы наклона пляжа и откосов дамб.
- создан план участка с указанием положения геодезических знаков с их высотными отметками.
- все геодезические знаки были привязаны к местной геодезической сети.

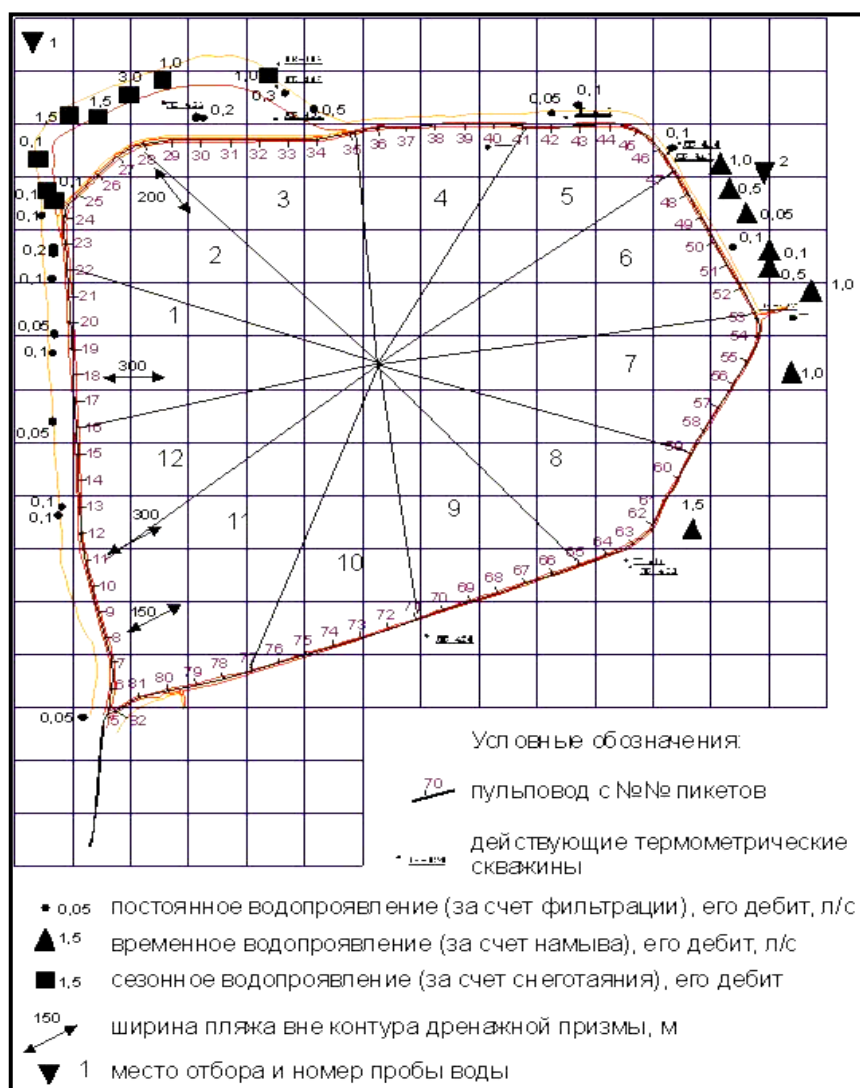


Рисунок 4.1 картографическая схема хвостохранилища №2 (1 поле).

«После визуального осмотра объекта наблюдения был сделан вывод о ненадлежащем состоянии временной рабочей геодезической сети. Для подготовки участка к наблюдениям была восстановлена рабочая геодезическая сеть. Все подготовительные работы выполнялись согласно СНиП 1.02.07-87 Инженерные изыскания при строительстве СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве, 1985, СНиП 3.01.84. а также по методикам описанным в литературных источниках» [Геодезические работы при изысканиях Стройиздат, 1984, Сундаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. М.: Недра, 1972,].

Подготовка оборудования для выполнения полевых работ

Приборы и оборудование, рекомендуемые для наблюдений, выбираются из числа серийных, которые по своим характеристикам вполне отвечают всем требованиям по точности и производительности.

Для выполнения высотной съёмки использовали нивелиры ИЗ и ПС4, прецизионные 3-метровые рейки с полу-сантиметровыми делениями и нивелирные насадки.

Выполнение привязки наблюдательных станций, разбивка их на местности, измерение углов на боковые реперы были осуществлены с помощью теодолитов Т2 и Т5.

Поверки и исследовании приборов и оборудования.

Весь рабочий инструмент прошел метрологическую поверку и имеет характеристики соответствующие нормам метрологии.

Размещение геодезических знаков и других контрольных приборов на участках и элементах дамбы, выполнялось исходя из условий получения наиболее полной и достоверной информации о величине и распределении намывного слоя по ширине пляжа (Рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 Контрольные марки в зоне намыва

В качестве основного метода наблюдения был принят геодезический.

4.1.3. Натурные наблюдения намыва ограждающей дамбы хвостохранилища

На момент начала наблюдений хвостохранилища характеризовалось следующими параметрами.

В зимний период времени при подготовке к летнему намывному периоду были выполнены следующие работы.

1. Отсыпана опорная и дренажная призмы из металлургического шлака на первом и втором поля хвостохранилища №2. Общая протяженность отсыпки составляет ~ 20 км, объем шлака – 428 тыс. м³

2. Произведен демонтаж и последующий монтаж 12 км распределительного пульпопровода и запорной арматуры (500 шт.)
Отметка гребня ограждающей дамбы первого поля – 72,0 м, (низ трубопровода 72,80 м), на втором поле 50 м (50,8 м) соответственно.

Намыв производился на участке первого поля на ПК-49 – ПК-60, в работе находилось 44 выпусков. Уровень воды в бассейнах составлял - 69.80 м, на первом поле. Дренажная призма отсыпана только на первом поле хвостохранилища на расстоянии 100-120 м.

Дамба хвостохранилища находилась в недостаточно благоприятном состоянии, по восточной стороне в подошве, на участке ПК 90-73 отмечается фильтрация, на ПК 73-78 – значительная деформация дамбы в вертикальном и горизонтальном направлениях (Рисунок 4.3)

Пригрузка низового откоса дамбы на ПК 33'-38' выполнена удовлетворительно, откос выположен участками, тем не менее отмечаются следы размыва дамбы при зимнем складировании хвостов (Рисунок 4.4).

На первом поле хвостохранилища начата отсыпка дамбы обвалования очередного яруса намыва, как показали наблюдения отсыпка производится на недостаточно намытый по высоте пляж, что приводит к увеличению объемов шлака (Рисунок 4.5)



Рисунок 4.3. - Фильтрация на участке низового откоса восточного борта хвостохранилища



Рисунок 4.4 - Выположенный откос разделительной дамбы



Рисунок 4.5 - Отсыпка призмы на "недомытый пляж"

На втором поле параллельно подошве разделительной дамбы произведена отсыпка дренажной призмы для удержания твердой фазы пульпы при намыве пригрузки, по ее гребню для дополнительного намыва и сохранения дамбы проложен пульпопровод $\text{du } 273$ (Рисунок 4.6)



Рисунок 4.6 - Дренажная призма пригрузки низового откоса разделительной дамбы

В полном объеме результаты визуальных наблюдений за процессом намыва и состоянием ограждающей дамбы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты визуальных наблюдений за процессом намыва и состоянием ограждающей дамбы хвостохранилища.

| Вид деформации | Внешнее проявление | Причины и условия возникновения |
|----------------------------------|--|---|
| Осадка | Опускание поверхности сооружения | Уплотнение грунта в теле и основании сооружения, <u>вытаивание</u> погребенных прослоев и линз льда |
| Просадка | Быстрое, иногда мгновенное опускание поверхности | Оттаивание погребенных льдов. Выдавливание из-под основания откоса слабых грунтов. |
| Просадка местная | Образование на поверхности местных впадин | Уплотнение <u>водонасыщенных</u> прослоев, слабо уплотненных. |
| Выпор | Подъем поверхностей берм и основания сооружения | Достижение <u>пред состояния</u> грунтов от веса сооружения. |
| Смещение | Изменение во времени положения точек сооружения в плане | Неравномерные осадки тела или основания дамбы. |
| Пучение | Подъем поверхности грунта | Замерзание воды в порах <u>водонасыщенных</u> грунтов |
| Пучина | Вспучивание грунта в виде бугра, вздутия и т.д. | То же |
| Трещины | Продольные и поперечные, горизонтальные, | Температурные деформации, провалы, сколы, оползни и т.д. |
| Грифон | Выход воды на поверхность в виде фонтанирующих струй | Давление напорного горизонта вышележащего водонепроницаемого слоя |
| Свищ | Отдельные струи, пробивающиеся через дамбу | Наличие в сооружении направленных путей фильтрации (трещина, пустота и т.д.) |
| <u>Высачивание, просачивание</u> | Выход фильтрационных вод на поверхность в виде струй или отд. капель | То же |
| Вымывание, суффозия | Вынос грунта из тела сооружения | Большая скорость фильтрации, превышение критического градиента напора. |

Результаты визуальных наблюдений заносились в журнал и отмечались на карте фактического материала.

В соответствии с программой полевых испытаний определялись показатели, представленные в таблице 4.2. В этой же таблице представлены

номинальные значения и предельные отклонения измеряемых величин в процессе испытаний.

Таблица 4.2 – Номинальные значения и предельные отклонения измеряемых показателей в процессе испытаний

| № | Наименование показателя | Ед. <u>изм</u> | Номинальное значение | Предельные отклонения |
|--|--|----------------|----------------------|-----------------------|
| 1. Определение геометрических характеристик дамбы | | | | |
| 1.1 | высота | м | 2 | До 10% |
| 1.2 | угол откоса | град. | 45 | До 5% |
| 1.3 | длина пляжа | м | 100 | До 10% |
| 1.4 | уклон пляжа | град. | 1,8 | До 10% |
| 1.5 | толщина слоя намыва | м | 0,5 | До 10% |
| 1.6 | ширина фронта намыва | м | 75 | Не доп-ся |
| 2. Определение характеристик отходов | | | | |
| 2.1 | объем пульпы за цикл намыва | м ³ | 185 850 | ± 5% |
| 2.2 | фракция хвостов | мм | 0,01-0,7 | ± 5% |
| 2.3 | процентное содержание хвостов в пульпе | % | 25 | ± 5% |
| 2.4 | скорость движения пульпы в пульпопроводе | т/час | 48,31 | ± 5% |
| 3. Определение характеристик процесса намыва | | | | |
| 3.1 | время намыва | дни | 15 | ± 5% |
| 3.2 | процесс консолидации намывных хвостов на пляже | дни | 14 | ± 10% |
| 3.3 | температурные условия намыва | °С | 14 | ± 5% |

В результате наблюдений за процессами намыва ограждающей дамбы на первом и втором полях установлено:

1. Намыв осуществляется более равномерно на первом поле хвостохранилища за счет устройства дренажной призмы, причем с уменьшением расстояния от оси распределительного пульпопровода интенсивность намыва увеличивается (таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Ведомость наблюдений за скоростью намыва ограждающей дамбы хвостохранилища №2.

| № пикета, точка | Расстояние точки замера | Абсолютные отметки | Абсолютные отметки | Мощность намывных |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| ПК 49 | 0 | 59,73 | 59,73 | 0 |
| 1 | 5 | 57,23 | 58,58 | 1,35 |
| 2 | 62 | 56,8 | 57,83 | 1,03 |
| 3 | 133 | 56,8 | 57,74 | 0,94 |
| 4 | 141 | 56,76 | 57,53 | 0,77 |
| ПК 50 | 0 | 59,36 | 59,36 | 0 |
| 1 | 2 | 57,6 | 57,93 | 0,33 |
| 2 | 100 | 56,63 | 57,61 | 0,98 |
| ПК 51 | 0 | 59,48 | 59,48 | 0 |
| 1 | 2 | 57,52 | 58,04 | 0,52 |
| 2 | 43 | 56,85 | 57,67 | 0,82 |
| 3 | 125 | 56,39 | 57,47 | 1,08 |
| ПК 52 | 0 | 59,18 | 59,18 | 0 |
| 1 | 3 | 57,47 | 57,99 | 0,52 |
| 2 | 26 | 57,12 | 58,09 | 0,97 |
| 3 | 125 | 56,26 | 57,27 | 1,01 |
| ПК 53 | 0 | 59,23 | 59,23 | 0 |
| 1 | 3 | 57,42 | 58,19 | 0,77 |
| ПК 54 | 0 | 59,35 | 59,35 | 0 |
| 1 | 3 | 57,49 | 58,36 | 0,87 |
| 2 | 21 | 57,13 | 58,09 | 0,96 |
| 3 | 44 | 56,99 | 57,98 | 0,99 |
| ПК 55 | 0 | 59,27 | 59,27 | 0 |
| 1 | 4 | 57,56 | 58,16 | 0,6 |
| ПК 56 | 0 | 59,49 | 59,49 | 0 |
| 1 | 4 | 57,55 | 58,34 | 0,79 |
| 2 | 107 | 57,31 | 57,72 | 0,41 |
| 3 | 115 | 57,26 | 57,58 | 0,32 |
| 4 | 156 | 56,25 | 57,25 | 1 |
| ПК 57 | 0 | 59,24 | 59,24 | 0 |
| 1 | 3 | 57,54 | 58,21 | 0,67 |
| ПК 58 | 0 | 59,59 | 59,59 | 0 |
| 1 | 2 | 58,09 | 58,71 | 0,62 |
| 2 | 13 | 57,98 | 58,69 | 0,71 |
| 3 | 95 | 57,06 | 58,61 | 1,55 |
| ПК 59 | 0 | 59,94 | 59,94 | 0 |
| 1 | 3 | 57,89 | 58,78 | 0,89 |
| 2 | 48 | 57,22 | 58,70 | 1,48 |
| 3 | 126 | 57,09 | 58,58 | 1,49 |
| ПК 60 | 0 | 60,44 | 60,44 | 0 |
| 1 | 3 | 57,81 | 59,23 | 1,42 |
| 2 | 155 | 57,67 | 58,54 | 1,87 |

2. Уклоны пляжей уменьшаются с приближением дренажной призмы к распределительному пульпопроводу и незначительно увеличиваются с удалением от него (Рисунок. 4.7).

В таблице 4.4 представлены результаты определения геометрических характеристик дамбы при ее намыве на ПК-13.

3. Интенсивность намыва увеличивается на участках, на которых осуществлено обвалование опорной призмы хвостами с помощью экскаваторной техники.

Создание дамбы вторичного обвалования с помощью экскаватора показало высокую эффективность. Принципиальная схема обвалования приведена на рисунке 4.8.



Рисунок 4.7 - Уклоны пляжа при отсыпке дренажной призмы на расстоянии 100-120 м

Таблица 4.4 - Результаты определения геометрических характеристик дамбы

| Кол-во циклов намыва | Наименование геометрических характеристик дамбы | | | | | |
|----------------------|---|-------------------|----------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| | Высота, м | Угол откоса, град | Длина пляжа, м | Уклон пляжа, град | Толщина слоя намыва, м | Ширина фронта намыва, м |
| 1 | 0,5 | 45 | 100 | 1,8-2 | 0,5 | 900 |
| 2 | 1 | 45 | 100 | 1,8-2 | 0,5 | 900 |

Средняя скорость устройства дамбы вторичного обвалования из лежалых хвостов с помощью экскаватора составляет ~10 -30 м/час (Рисунок 4.9).

При реализации технологии с использованием обвалования экскаваторной техникой, из применяемой в настоящее время технологии периодически исключаются следующие операции:

- Демонтаж распределительного пульпопровода.
- Переподъем распределительного пульпопровода.

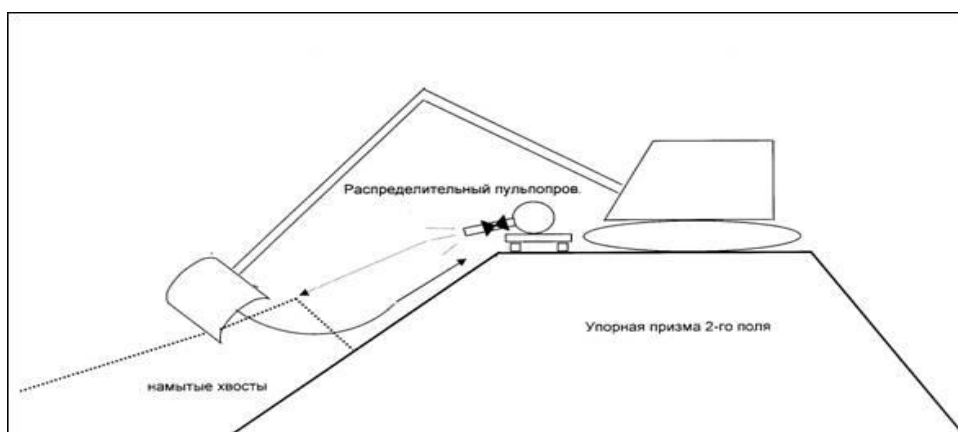


Рисунок 4.8 - Принципиальная схема устройства дамбы вторичного обвалования из намытых хвостов



Рисунок 4.9 - Обвалование опорной призмы пульпопровода

4. Площадь намыва пригрузки низового откоса разделительной дамбы весьма значительна для складирования хвостов, при условии наращивания высоты дренажной призмы, устроенной параллельно ее подошве (рисунок 4.10).

В таблицах 4.5 и 4.6 представлены результаты определения технологических характеристик процесса намыва в створах на ПК - 13

В лабораторных условиях на отобранных образцах определялись весовая влажность, плотность, плотность сухого грунта, зерновой состав, прочностные свойства (Таблицы 4.7 и 4.8).



Рисунок 4.10 - Площадь для складирования хвостов в низовой откос разделительной дамбы

Таблица 4.5 - Результаты по определению характеристик отходов

| Кол-во циклов намыва | Наименование характеристик отходов | | |
|----------------------|---|---|--|
| | Объем пульпы за цикл намыва, м ³ | Процентное содержание хвостов в пульпе, % | Скорость движения пульпы в пульпопроводе, л/сек. |
| 1 | 185·850 | 25 | 48,31 |
| 2 | 185·850 | 25 | 48,31 |

Таблица 4.6 - Результаты определения характеристик процесса намыва

| № | Наименование характеристик процесса намыва | | |
|----------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|
| Кол-во циклов намыва | Время намыва, дни | Время консолидации хвостов, дни | Температурные условия намыва, °С |
| 1 | 15 | 14 | 10-15 |
| 2 | 14 | 14 | 10-15 |

Таблица 4.7 - Гранулометрический состав хвостов хвостохранилища №2.

| Место отбора | Фракции | | | | | | | | | |
|--------------|---------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|----------|-----------|--------|
| | >2,5 | 2,5-1,25 | 1,25-0,98 | 0,98-0,63 | 0,63-0,315 | 0,315-0,2 | 0,2-0,16 | 0,16-0,1 | 0,1-0,068 | <0,068 |
| ПК 76 0 м | - | - | - | - | - | 0,02 | 1,25 | 2,13 | 36,69 | 59,89 |
| 30 м | - | - | - | - | - | 2,51 | 0,16 | 4,22 | 22,06 | 71,03 |
| 60 м | - | - | - | - | 0,03 | 0,05 | 1,08 | 2,08 | 6,28 | 90,46 |
| ПК 34'0 м | - | - | - | - | - | 0,68 | 3,4 | 46,06 | 19,15 | 30,69 |
| 30 м | - | - | - | - | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 1,32 | 11,36 | 87,16 |
| ПК 38'0 м | - | - | - | - | 0,02 | 0,88 | 2,77 | 47,89 | 13,84 | 34,58 |
| 30 м | - | - | - | 0,19 | 0,03 | 0,82 | 2,37 | 35,38 | 23,63 | 37,56 |
| 60 м | - | - | - | - | 0,09 | 0,29 | 0,84 | 44,48 | 18,41 | 35,87 |
| ПК 580 м | - | - | - | 2,07 | 2,12 | 13,2 | 17,26 | 26,5 | 23,05 | 15,78 |
| 30 м | - | - | - | - | - | 0,77 | 0,85 | 41,74 | 39,87 | 16,73 |
| ПК 440 м | - | - | - | - | 0,02 | 0,63 | 1,05 | 32,91 | 46,15 | 19,23 |
| 30 м | - | - | - | - | - | 2,91 | 4,61 | 38,65 | 24,87 | 28,94 |
| 60 м | - | - | - | - | 0,04 | 0,5 | 1,61 | 34,71 | 39,98 | 23,14 |
| ПК80 м | 0,5 | 1,94 | 5,03 | 13,05 | 22,6 | 41,95 | 0,78 | 9,5 | 2,21 | 2,42 |
| 30 м | - | - | - | 1,39 | 1,58 | 36,2 | 2,68 | 42,85 | 10,31 | 4,98 |
| 60 м | - | - | 0,15 | 0,22 | 3,76 | 29,15 | 10,79 | 32,68 | 13,15 | 10,09 |
| ПК 140 м | - | - | - | 2,14 | 3,08 | 76,39 | 7,22 | 4,15 | 5,98 | 1,02 |
| 30 м | - | - | - | 2,21 | 2,88 | 61,64 | 27,47 | 1,13 | 4,03 | 0,63 |
| 60 м | - | - | - | - | 0,01 | 10,19 | 5,73 | 75,64 | 7,1 | 1,31 |
| 100 м | - | - | - | - | 0,13 | 1,14 | 2,07 | 76,93 | 16,66 | 3,06 |

Таблица 4.8 - Физико-механические свойства хвостов хвостохранилища №2.

| Место отбора | Влажность, % | Плотность, г/см ³ | Плотность минеральных частиц, г/см ³ |
|--------------|--------------|------------------------------|---|
| ПК 76 0 м | 14,00 | 2,42 | 3,58 |
| 30 м | 16,68 | 2,05 | 3,62 |
| 60 м | 36,09 | 2,45 | 3,41 |
| ПК 34'0 м | 10,59 | 2,70 | 2,68 |
| 30 м | 15,09 | 2,74 | 3,38 |
| ПК 38'0 м | 16,68 | 2,37 | 3,20 |
| 30 м | 22,58 | 2,45 | 3,71 |
| 60 м | 18,31 | 1,92 | 2,78 |
| ПК 580 м | 19,46 | 2,18 | 3,16 |
| 30 м | 22,18 | 2,10 | 3,47 |
| ПК 440 м | 13,41 | 1,57 | 3,27 |
| 30 м | 23,07 | 3,08 | 3,54 |
| 60 м | 17,11 | 2,68 | 3,38 |
| ПК80 м | 6,61 | 2,22 | 3,37 |
| 30 м | 26,32 | 2,07 | 3,26 |
| 60 м | 18,52 | 2,28 | 3,22 |
| ПК 140 м | 16,63 | 2,13 | 3,17 |
| 30 м | 26,16 | 2,53 | 3,35 |
| 60 м | 9,10 | 2,56 | 2,81 |
| 100 | 41,72 | 2,58 | 3,30 |

К недостаткам существующей технологии намыва, которые были установлены в результате полевых работ на период подготовки к зимнему периоду содержания накопителя относятся:

1. Высокие затраты на перекладку пульпопровода на очередной ярус намыва и отсыпку дренажных призм.

2. Нерациональное использование металлургического шлака, например при положении распределительного пульпопровода второго поля на отметке 50,8 м, гребень дамбы намывает до отметки 49-50 м. Таким образом, при последующей перекладке не домытый гребень будет компенсирован отсыпкой металлургическим шлаком, в результате чего происходит удорожание строительства, к тому же теряется емкость.

3. К началу зимнего периода недомыты пляжи, как на первом, так и втором полях хвостохранилища.

4. Осуществляется подача пульпы на низовой откос из распределительного пульпопровода с гребня разделительной дамбы, при этом возможен размыв откоса и дренажной призмы.

5. Намыв осуществляется неравномерно, фронт намыва не выделен, намыв производится участками на различных расстояниях друг от друга.

В результате проведенных исследований были рассмотрены и апробированы в полевых условиях следующие варианты намыва дамбы:

1. Традиционный, с последовательным закрытием запорной арматуры на ближних пикетах (к ПНС-3) с одновременным открытием дальних. При этом на ближних пикетах увеличивается интенсивность намыва, с отложением более крупных фракций песков. Таким образом достигается равномерный намыв на участке, и может быть рекомендован при отсутствии дренажных призм, а также создания подушки под дамбу обвалования из шлака медного завода на следующий ярус намыва.

2. На участках дамб обвалования экскаватором, интенсивность намыва также увеличивается, при соответствующем управлении расходом пульпы и протяженностью фронта намыва, проектные 1,2 метра высоты пляжа могут быть сформированы в течение 7-15 дней. При обваловании достигается фильтрационная устойчивость отсыпки из металлургического шлака и более

удовлетворительная морфология пляжа. Дальнейшее увеличение высоты обвалования позволяет снизить количество переключений пульпопровода.

3. В летний период по согласованию с ПООФ на дренажной призме намыва пригрузки был проложен участок трубопровода $\text{du } 273$ для создания условий для обратного намыва пригрузки снизу вверх (рис. 4.11). Пробный намыв показал удовлетворительные результаты и может быть использован при намыве хвостохранилища со стороны разделительной дамбы. Но впоследствии намыв пригрузки разделительной дамбы со стороны дренажной призмы второго поля, по неизвестным причинам был остановлен.



Рисунок. 4.11 - Устройство дренажной призмы с пульпопроводом $\text{du } 273$ (а) для намыва пригрузки, б- дренажные трубопроводы

Следует отметить, что указанные варианты ранее были фрагментарно апробированы на хвостохранилище, но так и не получили соответствующего научного обоснования.

Все рассмотренные способы намыва направлены на снижение финансовых и материальных затрат при складировании хвостов в хвостохранилище №2.

Таким образом, комплекс выполненных исследований позволил теоретически и практически обосновать ряд направлений эффективной и

безопасной эксплуатации хвостохранилища, окончательный выбор оптимальной технологии будет выбран заказчиком.

4.2. Оценка экологической и промышленной безопасности существующего состояния сооружения

«Оценка экологической и промышленной безопасности существующего состояния сооружения была проверена на первом поле хвостохранилища №2 для характерных створов и с их определенными характеристиками (рис.4.1, табл. 4.9). Исследования проводились именно на этом поле, так как второе поле хвостохранилища имеет относительно небольшую высоту ограждающей дамбы и на момент исследований риска аварии не представлял» [Проверочный..., 2008].

Инженерно-геологические мерзлотные условия хвостохранилища №2 можно отнести к весьма сложным:

-

Таблица 4.9 Характеристики грунтов и намывных хвостов, слагающих тело дамбы в определенных створах хвостохранища (первое поле).

| № створа | Расположение створа | Диапазон изменения тем-ры намывных хвостов, °С | Наименование основных грунтов слагающих тело дамбы | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|--|--|------|----|------|-----------------------------|---------------------------|------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------|---------------|
| | | | Основные физико-механические свойства грунтов | | | | ρ_s , т/м ³ | ρ , т/м ³ | W, % | φ , ° | ρ_s , т/м ³ | ρ , т/м ³ | W, % | φ , ° | ρ_s , т/м ³ | ρ , т/м ³ | W, % | φ , ° |
| I-I (ПК 11+50) | На западе в зоне многолетне мерзлых грунтов | от - 0,1 до - 9,3 | Пески пылеватые | | | | Супеси | | | | | | | | | | | |
| | | | 3,19 | 2,1 | 24 | 29,3 | 3,21 | 1,84 | 41 | 30,6 | ----- | ----- | ---- | ---- | | | | |
| II-II (ПК28) | На северо-западе | от + 0,1 до + 0,2 | Супеси | | | | Супеси льдистые | | | | Супеси талые | | | | | | | |
| | | | 3,26 | 2,09 | 26 | 31,7 | 3,21 | 1,84 | 41 | 30,6 | 3,18 | ---- | 25 | 32,1 | | | | |
| III-III (ПК 30+60) | На севере | от - 5,4 до + 0,3 | Супесчаные льдистые | | | | Супеси криогенной текстуры | | | | Супеси талые | | | | | | | |
| | | | 3,21 | 1,84 | 42 | 30,6 | 3,26 | 2,09 | 26 | 31,7 | 3,18 | ---- | 25 | 3,21 | | | | |
| IV-IV (ПК 34+80) | На севере | от - 4,6 до + 0,1 | Супеси криогенной текстуры | | | | Суглинки льдистые | | | | Супеси талые | | | | | | | |
| | | | 3,26 | 2,09 | 26 | 31,6 | 3,14 | 1,79 | 44 | 31,6 | 3,18 | ---- | 25 | 32,1 | | | | |
| V-V (ПК 46+25) | На севере | от - 0,9 до + 0,5 | Супеси льдистые | | | | Супеси талые | | | | Суглинки талые | | | | | | | |
| | | | 3,01 | 1,81 | 41 | 31,5 | 3,18 | ---- | 25 | 32,1 | 3,13 | ---- | 33 | 33 | | | | |
| VI-VI (ПК 50) | На северо-востоке | от - 1,2 до + 0,2 | Суглинки льдистые | | | | Пески пылеватые | | | | Супеси талые | | | | | | | |
| | | | 3,14 | 1,79 | 44 | 31,6 | 3,19 | 2,1 | 24 | 29,3 | 3,18 | ---- | 25 | 32,1 | | | | |

| № створа | Расположение створа | Диапазон изменения тем-ры намывных хвостов, °С | Наименование основных грунтов слагающих тело дамбы | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|--|--|---------------------------|------|------------|-----------------------------|---------------------------|------|------------|-----------------------------|---------------------------|------|------------|
| | | | ρ_s , т/м ³ | ρ , т/м ³ | W, % | ϕ , ° | ρ_s , т/м ³ | ρ , т/м ³ | W, % | ϕ , ° | ρ_s , т/м ³ | ρ , т/м ³ | W, % | ϕ , ° |
| VII-VII (ПК-56+75) | На востоке | от -0,7 до +2,8 | Супесчаники льдистые | | | | ----- | | | | Супесчистые | | | |
| | | | 3,15 | 2,03 | 29 | 29,6 | ----- | ----- | --- | ----- | 3,18 | ---- | 25 | 32,1 |
| VIII-VIII (ПК-67+75) | На юго-востоке | от -0,2 до +0,2 | Супесчаники льдистые | | | | Пески пылеватые | | | | Супесчистые | | | |
| | | | 3,21 | 1,84 | 41 | 30,6 | 3,09 | 2,01 | 26 | 30,3 | 3,18 | --- | 25 | 29,3 |
| IX-IX (ПК-75) | На юге | от -4,3 до -0,1 | Супесчаники льдистые | | | | Пески пылеватые | | | | Супесчистые | | | |
| | | | 3,15 | 2,03 | 29 | 29,6 | 3,2 | 1,98 | 25 | 29,0 | 3,18 | ---- | 25 | 32,1 |

Примечание: ρ_s – плотность частиц грунта;

ρ – плотность грунта;

W – влажность грунта, общая;

ϕ – угол естественного откоса подводой

Был проведен расчет устойчивости ограждающей дамбы, в котором использовались все установленные выше закономерности по выбранным расчетным створам дамбы.

Легендой к карте служит таблица, в которой различными цветами обозначены допустимые, недопустимые и выше допустимые значения коэффициента запаса устойчивости (таблица 4.10).

Таблица 4.10 Вид легенды к карте устойчивости хвостохранилища №2.

| Сочетания нагрузок и воздействий | Класс капитальности | | | |
|----------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|
| | I | II | III | IV |
| Основные | | | | |
| Выше допустимого | >1,3 | >1,2 | >1,15 | >1,1 |
| Допустимый | 1,3-1,25 | 1,2-1,15 | 1,15-1,1 | 1,1-1,05 |
| Недопустимый | <1,25 | <1,15 | <1,1 | <1,05 |
| Особые | | | | |
| Выше допустимого | >1,1 | >1,1 | >1,05 | >1,05 |
| Допустимый | 1,1-1,05 | 1,1-1,05 | 1,05 | 1,05 |
| Недопустимый | <1,05 | <1,05 | <1,05 | <1,05 |

Результаты проведенных расчетов представлены на карте с цветным обозначением состояние устойчивости ограждающей дамбы (Рисунок. 4.12).

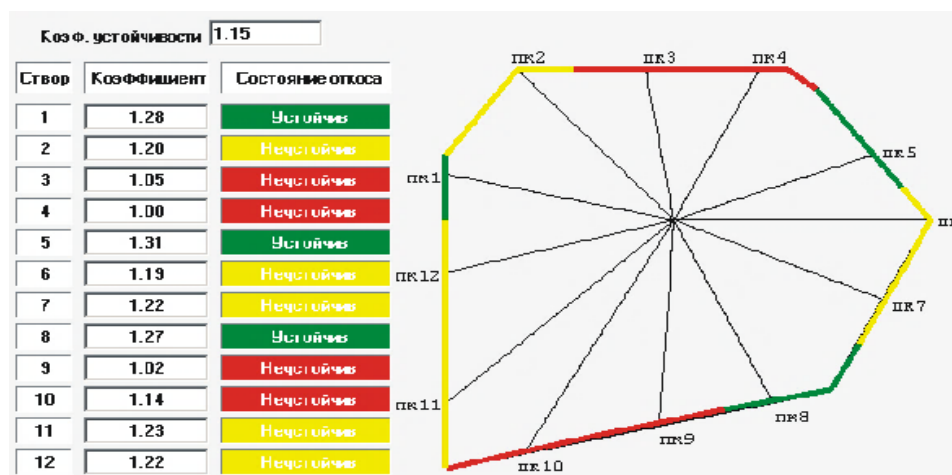


Рисунок 4.12 Результат расчета устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища

По результатам расчетов установлено:

- на створах 1, 5 и 8 - состояние устойчивое. Мероприятия по повышению устойчивости не требуются;

- на створах 2, 6,7 , 11 и 12 – стабильное состояние, однако требуется внимательное наблюдение для предотвращения и недопущения ухудшения безопасной эксплуатации;

- на створах 3, 4, 9 и 10 – необходимы экстренные меры повышения несущей способности дамбы.

4.3. Техничко-экономическая оценка рыночного потенциала эффективности внедрения системы расчетного мониторинга

Отсутствие комплексного подхода к оценке устойчивости и промышленной безопасности гидротехнических сооружений приводит к необоснованному увеличению затрат на обеспечение их устойчивости и эффективной эксплуатации, что выражается в проведении дорогостоящих дополнительных инженерных изысканий, наблюдений и исследований. В целом, работы на гидротехнических сооружениях (ГТС) должны иметь основной целью обеспечение статической и фильтрационной устойчивости подпорных сооружений, что в конечном итоге определяет промышленную и экологическую безопасность сооружений и их эффективную долгосрочную эксплуатацию.

Выполнение вышеуказанного условия должно сопровождаться обязательным расчетным мониторингом, результаты которого и будут показывать, в каком состоянии находится то или иное сооружение.

Следует констатировать, что системы такого мониторинга на ГТС страны до сих пор не создано: собираемые материалы при реализации мониторинге безопасности из-за отсутствия программ расчетов, не используются при оценке фактического состояния объекта и его влияния на окружающую среду. Поэтому службы эксплуатации и надзора в своей деятельности, опираясь на положения соответствующих нормативных документов, выполняя их требования, практически не всегда корректно представляют их назначение. Например, в соответствии с "Правилами эксплуатации ..." утвержденными Госгортехнадзором России, инженерные

изыскания должны проводиться каждые пять лет, учитывая увеличение интенсивности намыва ограждающей дамбы до 2-2,5 м/год, такие изыскания необходимо будет проводить через каждые 2-3 года. При условии наличия постоянно-действующей модели и существующей системе мониторинга безопасности сооружений (с соответствующими дополнениями) и в то же время, выполняя требования Госгортехнадзора России, можно значительно сократить объемы изысканий (минимум в два раза), а при корректном обосновании фактического состояния объекта и полностью от них отказаться.

В таблице 4.11 приведена сравнительная характеристика видов и объемов работ по обеспечению устойчивости хвостохранилища №2'. Сравнение выполнено для видов работ регламентированных нормами и их сокращения при внедрении результатов исследований.

За базовый вариант принято экономическое обоснование инженерных изысканий на хвостохранилище '№2', (укрупненные расчеты). При этом предполагается, что на хвостохранилище выполняется комплекс работ специализированными службами комбината.

Анализ показывает, что ожидаемая экономическая эффективность при внедрении результатов исследований только в первый год составит не менее 50% снижения затрат на изыскания от расходов на плановые инженерно-геологические изыскания.

Таблица 4.11 Сравнительная характеристика видов и объемов работ по обеспечению устойчивости хвостохранилища '№2'.

| Наименование видов работ | Ед. изм., Тыс. руб Сб. цен на изыскательские работы. Госстройиздат, 1998. | |
|---|--|-----------------------------------|
| | Базовый вариант | Вариант НИР |
| 1.Инженерно-геологические изыскания | | |
| 1.1.Инженерно геодезические изыскания | 180 | данные ГС УНСОФ |
| 1.2.Бурение инженерно- геологических скважин, с отбором керна | 700 | Методика НИР (выполняет ГС УНСОФ) |
| 1.3. Динамическое зондирование | - | Методика НИР (выполняет ГС УНСОФ) |
| 1.4. Отбор проб из пляжной зоны | - | Методика НИР (выполняет ГС УНСОФ) |
| 1.5.Геофизические работы | 120 | - |
| 1.6. Лабораторные работы | 180 | - |
| 1.7. Камеральные работы | 50 | - |
| 2.Расчеты устойчивости | 100 | Используется ПО, UNIWAY UNFOS |
| 3.Прогноз устойчивости | 150 | Используется ПО, UNIWAY UNFOS |
| ИТОГО | 1480 | 534 |

Кроме снижения прямых затрат на инженерно-геологические изыскания, значительно сократятся затраты на проектирование и повысится его качество, т.к. накопительная база данных о фактическом состоянии сооружения в комплексе с постоянно действующей моделью устойчивости, позволяют оценивать промышленную безопасность хвостохранилища и его эффективную эксплуатацию как в реальном времени, так и на перспективу.

Учитывая периодичность, трудозатраты и продолжительность проведения инженерно-геологических изысканий рыночный потенциал внедрения системы расчетного мониторинга весьма значителен и составит сотни миллионов рублей в год.

4.3.1. Технико-экономическая оценка рыночного потенциала эффективности совершенствования технологических параметров намыва ограждающей дамбы хвостохранилища

Расчет экономической эффективност

и совершенствования технологических параметров намыва ограждающей дамбы хвостохранилища выполнен в соответствии с разработанным «Технологическим регламентом формирования и эксплуатации хвостохранилища» применительно к хвостохранилищу №2.

Общий экономический эффект определяется по формуле (4.3):

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_{\text{к.р.}} + \mathcal{E}_{\text{с.ст.}} + \mathcal{E}_{\text{альт.}} \quad (4.3)$$

где: $\mathcal{E}_{\text{к.р.}}$ – экономический эффект от конструктивных решений;

$\mathcal{E}_{\text{с.ст.}}$ – экономический эффект от сокращения срока строительства;

$\mathcal{E}_{\text{альт.}}$ - экономический эффект от сокращения альтернативных издержек.

Экономический эффект от конструктивных решений включает в себя: эффект от использования материала конструкций, технологических приемов и конструктивных решений.

Экономический эффект от сроков строительства заключается в: уменьшении затрат на заработную плату, накладные расходы, содержание автомобильных дорог и т. д.

Расчет объемов работ за 3 года (2011-2013 гг).

Согласно регламенту, намыв на первом поле осуществляется высотой в 1 м, а на втором поле – 2 м. При такой технологии на первом поле отсыпка ограждающей дамбы требуется раз в 2 года (при высоте ограждающей дамбы 2м), а на втором поле раз год. Перестановка ограждающей дамбы ведется на первом поле раз в 2 года, а на втором – раз в год.

Объемы земляных работ на первом поле составят:

Объем шлама, требующегося на отсыпку ограждающей дамбы:

$$V_{\text{огр 1}} = L_{\text{огр 1}} \cdot S = 7\,400 \cdot ((8 + 12) / 2) \cdot 2 = 148\,000 \text{ м}^3;$$

где $L_{\text{огр 1}}$ - длина дамбы первого поля;

S – площадь поперечного сечения призмы из шлака (площадь трапеции).

Объем шлака, требующегося на отсыпку упорной призмы:

$$V_{y.n.1} = L_{y.n.1} \cdot S = 7\,400 \cdot ((2 + 6) / 2) \cdot 2 = 59\,200 \text{ м}^3;$$

где $L_{y.n.1}$ - длина дамбы первого поля;

S – площадь поперечного сечения призмы из шлака (площадь трапеции).

Итого по первому полю за год:

$$V_1 = V_{огр.1} + V_{y.n.1} = 146\,000 + 29\,200 = 207\,200 \text{ м}^3.$$

Объемы земляных работ на втором поле составят:

Объем шлака, требующегося на отсыпку ограждающей дамбы:

$$V_{огр.2} = L_{огр.2} \cdot S = 4\,300 \cdot ((8 + 12) / 2) \cdot 2 = 86\,000 \text{ м}^3;$$

где $L_{огр.1}$ - длина дамбы второго поля;

S – площадь поперечного сечения призмы из шлака (площадь трапеции).

Объем шлака, требующегося на отсыпку упорной призмы:

$$V_{y.n.2} = L_{y.n.2} \cdot S = 4\,300 \cdot ((2 + 6) / 2) \cdot 2 = 34\,400 \text{ м}^3;$$

где $L_{y.n.2}$ - длина дамбы второго поля;

S – площадь поперечного сечения призмы из шлака (площадь трапеции).

Итого по второму полю за год:

$$V_1 = V_{огр.1} + V_{y.n.1} = 86\,000 + 34\,400 = 120\,400 \text{ м}^3.$$

За 3 года объем земляных работ на первом поле составит:

$$V_1 \cdot 2 = 207\,200 \cdot 2 = 414\,400 \text{ м}^3 (2 \text{ перестановки}).$$

За 3 года объем земляных работ на втором поле составит:

$$V_1 \cdot 2 = 120\,400 \cdot 3 = 361\,200 \text{ м}^3 (3 \text{ перестановки}).$$

Общий объем земляных работ за 3 года:

$$414\,400 + 361\,200 = 775\,600 \text{ м}^3.$$

Количество перестановок пульпопровода за 3 года на первом поле – 2 (14,8 км); на втором поле – 3 (12,9 км). Итого: 27,7 км.

Расчет объемов работ по регламенту за 3 года (2011-2013 гг.).
объемы работ составят:

Земляные работы:

2010 - 2011 гг. - 130 000 м³;

2011 – 2012 гг. – 85 000 м³;

2012 – 2013 гг. – 312 000 м³.

Итого земляные работы за 3 года составят: 527 000 м³.

Монтаж – демонтаж пульпопровода:

2010 - 2011 гг. - 3,7 км;

2012 – 2013 гг. – 11,4 км.

Итого: 15,1 км

Расчеты экономического эффекта от конструктивного решения и сроков строительства рассчитываются как разница между сметными стоимостями строительно-монтажных работ по регламенту и по базовой технологии.

Согласно Локальных сметных расчетов экономический эффект от конструктивных решений и сроков строительства, рассчитывается как разница между сметными стоимостями строительно-монтажных работ по базовому варианту и по регламенту составит:

$$4\,050\,333\,040,26 - 2\,610\,235\,029,8 = 1\,440\,098\,010,46 \text{ руб.}$$

Экономический эффект от сокращения альтернативных издержек за рассматриваемый период (3 года) составит из расчета банковской ставки 10 % годовых:

$$1\,440\,098\,010,46 \cdot 0,1 \cdot 3 = 432\,029\,403,14 \text{ руб.}$$

Таким образом суммарный экономический эффект за 3 года составит:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{общ}} &= \mathcal{E}_{\text{к.р.}} + \mathcal{E}_{\text{с.ст.}} + \mathcal{E}_{\text{альт.}} = 1\,440\,098\,010,46 + 432\,029\,403,14 = \\ &= 1\,872\,128\,322,6 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Таким образом, оптимальная технология содержания хвостохранилища №2 заключается в практической реализации научных разработок, выполненных на гидротехническом сооружении и использовании положительного опыта эксплуатации накопителя, варьированием различных способов намыва. При этом соблюдаются критерии безопасности сооружения и снижаются материальные и финансовые затраты на его содержание.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. Хвостохранилище №2 является уникальным гидротехническим сооружением, построенным на вечномёрзлых грунтах. Оно представляет

сложную природно-техногенную систему, промышленная и экологическая безопасность, которой непосредственно связана с устойчивостью ограждающих конструкций и определяется особенностями последовательными технологическими операциями.

2. Результаты лабораторных и натурных испытаний при определении параметров намыва хвостохранилища №2 показали достаточно высокую сходимость.

3. По результатам физико-математического моделирования разработаны технологические варианты возведения хвостохранилища №2 ЗФ «ГМК «Норильский никель» и произведена оптимизация технологии по критериям: устойчивость массива; снижение материальных и финансовых затрат при эксплуатации; промышленная и экологическая безопасность.

4. Экономический эффект от принятых решений составил 187 млн. руб. Результаты исследований легли в основу «Проекта эксплуатации хвостохранилища №2 на период 2011-2013 гг.», выполненного ЗАО «Механобринжиниринг»

7. Результаты исследований выполненных на хвостохранилище №2 подтвердили работоспособность и эффективность разработанной методики и позволяют рекомендовать ее в практику проектирования, строительства и эксплуатации намывных гидротехнических сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научная задача технологических параметров намывного техногенного массива на основе использования экспериментально выявленных закономерностей процесса намыва, что обеспечивает увеличение его объёма, безопасность эксплуатации и снижение затрат при его формировании.

Основные научные и практические результаты, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Установлены закономерности физико-механических свойств техногенных грунтов, слагающих намывной техногенный массив и обосновано, что для обеспечения устойчивости его ограждающей дамбы и сохранения природной среды технологические параметры намыва должны обеспечить формирование однородного строения массива и плотного сложения техногенных грунтов с массивной текстурой.

2. Установлено, что равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы (соотношение жидкой фазы к твердой) находится в квадратичной зависимости от скорости движения пульпы, высоты расположения пульпопровода и средневзвешенного диаметра частиц.

3. Выявлено, что коэффициент устойчивости ограждающей дамбы намывного техногенного массива линейно зависит от геометрических параметров дамбы, прочностных характеристик намываемых частиц и степени их уплотнения.

4. Предложены варианты намыва техногенного массива, учитывающие высоту намыва дамбы за один цикл и в целом за год, ширину фронта намыва, количество намываемых отложений, календарный график работ при обязательном соблюдении промышленной и экологической безопасности.

5. Методика оценки экологической безопасности намывного техногенного массива практически внедрена и успешно используется на хвостохранилище №2 ЗФ «ГМК «Норильский никель».

6. Методика обеспечения устойчивости ограждающей дамбы намываемого техногенного массива позволяет продлить срок эксплуатации накопителей отходов металлургического производства на 15-20 лет без строительства новых горно-технических сооружений.

7. Предложенная методика обеспечения устойчивости ограждающей дамбы намываемого техногенного массива может быть использована горнорудными компаниями, научно-исследовательскими и проектными организациями, а также в учебном процессе ВУЗов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов С.Г. Основные принципиальные положения конструирования ограждающих сооружений хвосто- и шламохранилищ. Четвертый международный симпозиум "Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях./ВНИИ ВИОГЕМ. Белгород, 1997. - С.144-150
2. Аксенов С.Г., Жабовский В.П. Проблемы безопасности накопителей промстоков (хвостохранилищ, шламохранилищ и гидроотвалов) промышленных предприятий и пути повышения их устойчивой работы. Четвертый международный симпозиум "Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях./ВНИИ ВИОГЕМ. Белгород, 1997. - С.127-132
3. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. -М.: Энергоатомиздат, 1991. - 240 с
4. Берштейн Л.С., Коровин С.Я., Мелихов А.Н. Проектирование инструментальных средств экспертных систем с нечеткой логикой //Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1989. № 2. - С. 152-160
5. Биянов Г.Ф. Плотины на вечной мерзлоте. М.: Энергия, 1975. - 85 с.
6. Биянов Г.Ф., Когадовский О.А., Макаров В.И. Грунтовые плотины на вечной мерзлоте. Якутск, Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 1989. - 152 с.
7. Близняк Е.Б. О проектировании и постройке плотин в условиях вечной мерзлоты //Гидротехническое строительство, 1937, №9. С.14-16
8. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Природно-технические системы и их мониторинг. //Инженерная геология. 1990, № 10, С. 3-9

9. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьев Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. -М.: Радио и связь. 1989. - 304 с;
10. Борисов В. Г., Жусиман В. Н. Способ намыва земляного сооружения. СССР, а.с.1765281, Е 02 В 7/06, заяв.21.08.90г., №4877030/15.
11. Бородавко Ф. Ф., Абашкина Т. С. Способ намыва хвостохранилищ. СССР, а. с. 1204671, Е 02 В 7/06, заяв. 04.06.84 г., №3750849/29-15.
12. Бородавко Ф. Ф., Патиченко В. П. Способ намыва грунтового сооружения. заяв.15.02.86 г., №4173212/29-15.
13. Бурлаченко Г. М., Бурлаченко И. Г. Способ намыва гидротехнических сооружений. СССР а.с.1145074, Е 02 В 7/06, заяв. 21.02.83г., №3587045/29-15.
14. Бутюгин В.В., Пыхтин Б.С., Гришаева Л.В. О контроле безопасности накопителей промышленных отходов и проблемах их эксплуатации. // Гидротехническое строительство, 2004. - № 2, С. 35-40.
15. Бутюгин В.В., Савченко В.А. Основные принципы геоэкологического анализа при оценке влияния гидротехнических сооружений и гидротранспорта на геологическую среду. Геокриологические и геоэкологические проблемы строительства в районах Крайнего Севера. Научно-практический семинар 15-17 марта 2001 г. Сб. трудов. Норильск: С. 118-123.
16. Бутюгин В.В., Шкода В.С. Роль гибридного моделирования в разработке технологий строительства намывных гидротехнических сооружений /Сборник тезисов докладов научно-технической конференции «Дни науки 2000». Норильск,:Норильский индустр. ин-т. 2000. С.12
17. Бутюгина Л. В. Оценка и прогнозирование экологических аспектов эксплуатации хранилищ хвостов обогащения в криолитовой зоне. Диссертационная работа. Владикавказ 2004.

18. Валиев Н.Г., Славиковский О.В. Исследование технологии комплексного освоения минеральных ресурсов недр и техногенных образований // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2014. - № 6. - С. 22-26.
19. Велли Ю.Я. Устойчивость зданий и сооружений в Арктике. – Л.: Стройиздат, 1979.- 108 с.
20. Гальперин А. М. Геомеханика открытых горных работ. М.: Изд. Московского Государственного горного университета, 2003, - 473 с.
21. Гальперин А.М., Дьячков Ю.Н. Природоохранные гидромеханизированные технологии. М.: Недра. 1993. –165 с.
22. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика./ Под ред. Недриги В.П. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.
23. Голик В.И., Алборов И.Д. Охрана окружающей среды утилизацией отходов горного производства. – М.: Недра, 1995.
24. Голик В.И., Гегуев С.М., Сидakov А.Г., Сатцаев А.М. Экологические аспекты утилизации хвостов обогащения. Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. Международная конференция. М. РУДН, 2002. – С. 182-184
25. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. М.: 1987. – 132 с.
26. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения. Т. 2.-М.: Высшая школа, 1979.
27. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации. НИА-Природа. Москва. 2006. 277 с.
28. Дроздов А.В., Спесивцев А.В. Формализация экспертной информации при логико-лингвистическом описании сложных систем //Техническая кибернетика 1994. № 2, -С. 89-96
29. Егоров В. К., Каменецкий В. Л., Овчарук С. В., Овчар В. Н., Пятлин В. В. Способ намыва грунтового сооружения. Россия, Е02 В 7/06, заяв.28.05.96г., №96109900/11.

30. Ершов Э.Д., Гарагуля Л.С. Основные направления геокриологических исследований на современном этапе. /В кн.: Геокриологические исследования. Под редакцией Ершова Э.Д. –М.: Изд-во МГУ, 1987, с.3-17
31. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее приложение к принятию приближенных решений. -М.: Мир. 1976.- 165 с.
32. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. М.: «Высшая школа», 1991г., 352с.
33. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. -М.: Радио и связь, 1987. -120 с
34. Инструкция о порядке ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений предприятий, организаций, подконтрольных органам Госгортехнадзора России. Москва.: Госгортехнадзор России. 1988, - 5 с.
35. Инструкция. Эксплуатация хвостохранилища № 2 и бассейна оборотной воды Норильской обогатительной фабрики. И 14.52-22-98. Норильск, 1998, 12 с.
36. Исследования и разработка инновационных технологий комбинированной переработки и утилизации отходов предприятий цветной металлургии: Отчет о НИР по государственному контракту №16.515.11.5027 от 12.05.2011 г., шифр: «2011-1.5-029-019» (Этап №1) / Лолаев А.Б., Габараев О.З., Воропанова Л.А. – СКГМИ (ГТУ). – Владикавказ. – 2011 г.
37. Исследования и разработка инновационных технологий комбинированной переработки и утилизации отходов предприятий цветной металлургии: Отчет о НИР по государственному контракту №16.515.11.5027 от 12.05.2011 г., шифр: «2011-1.5-029-019» (Этап №2) / Лолаев А.Б., Габараев О.З., Воропанова Л.А. – СКГМИ (ГТУ). – Владикавказ. – 2011 г.
38. Исследования и разработка инновационных технологий комбинированной переработки и утилизации отходов предприятий цветной металлургии: Отчет о НИР по государственному контракту №16.515.11.5027

от 12.05.2011 г., шифр: «2011-1.5-029-019» (Этап №3) / Лолаев А.Б., Габараев О.З., Воропанова Л.А. – СКГМИ (ГТУ). – Владикавказ. – 2012 г.

39. Исследования и разработка инновационных технологий комбинированной переработки и утилизации отходов предприятий цветной металлургии: Отчет о НИР по государственному контракту №16.515.11.5027 от 12.05.2011 г., шифр: «2011-1.5-029-019» (Этап №4) / Лолаев А.Б., Габараев О.З., Воропанова Л.А. – СКГМИ (ГТУ). – Владикавказ. – 2012 г.

40. Калабин Г. В., Воробьев А. Е., Титова А. В., Салазкин М. Г., Захаров В. И. // Мониторинг техногенного преобразования окружающей среды территории деятельности горно-обогатительных комбинатов Европейской части России. Горный журнал 2003 № 12, стр. 101.

41. Каменский Р.М. Мониторинг природно-техногенных систем в криолитозоне. Научно-практический семинар "Геокриологические геоэкологические проблемы строительства в районах Крайнего Севера". Сб. трудов /Администрация г. Норильска, ОАО "НГК Норильский никель".15-17 марта 2001 г. Норильск, 2001. - С. 6-10

42. Каменский Р.М. Термический режим плотины и водохранилища Виллойской ГЭС. Якутск. Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН. 1977. - 92 с.

43. Кириченко Ю. В. Геоэкологические аспекты формирования техногенных массивов // Геология и разведка. – 1999. № 6.

44. Кириченко Ю. В. Геоэкологические аспекты формирования техногенных массивов // Геология и разведка. – 1999. № 6.

45. Кроник Я.А. Анализ аварий и надежности плотин и водохранилищ в криолитозоне. Материалы Первой конференции геокриологов России. Кн. 3. инженерная геокриология. – М., 1996.- С. 246-255

46. Кроник Я.А. Надежность плотин в районах Крайнего Севера и вечномерзлых грунтов. В кн. Проблемы механики грунтов и инженерного мерзлотоведения. – М: Стройиздат, 1990. – С. 131-143

47. Кроник. Я.А. Аварийность и безопасность природно-техногенных систем в криолитозоне. Материалы Второй конференции геокриологов России. МГУ им. М.В. Ломоносова. 6-8 июня 2001 г. Т. 4. Инженерная геокриология. - М.: изд-во МГУ, 2001.- С. 138-147
48. Кубарев М. С. Государственное регулирование природопользования: теоретико-методологический аспект: научная монография / Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 222 с.
49. Кузнецов Г.И. Основы проектирования золоотвалов. /КГТУ. Красноярск. 1998.-180 с.
50. Лаушкин Б. А., Дудышкин В. В. Способ возведения хвостохранилища. СССР а.с.855117, Е 02 В 7/06, заяв.11.02.80г., №3880313/29-15.
51. Лолаев А.Б. Инженерно-геокриологические проблемы освоения криолитозоны. – М.:,1998. – 154 с.
52. Лолаев А.Б., Акопов А.П., Оганесян А.Х., Сумин М.Н., Акопов Б.П., Оганесян Э.Х. Способ наращивания дамбы гидроотвала // Патент РФ, № 2486310, 2013 г.
53. Лолаев А.Б., Акопов А.П., Оганесян А.Х., Сумин М.Н., Акопов Б.П., Оганесян Э.Х. Лабораторный стенд для моделирования процесса намыва гидротехнического сооружения // Патент РФ, № 122098, 2013 г.
54. Лолаев А.Б., Акопов Б.П., Оганесян Э.Х. Лабораторные исследования намыва ограждающей дамбы //Труды молодых ученых №2, СКГМИ (ГТУ), - Владикавказ: Изд-во «Терек».2013.
55. Лолаев А.Б., Бадоев А.С., Арутюнова А.В., Оганесян Э.Х. Определение времени консолидации хвостов намывных накопителей отходов предприятий горно-металлургической промышленности. / Сборник статей научно-технической конференции обучающихся и молодых ученых СКГМИ (ГТУ) «НТК-2016» - Владикавказ, 2016.

56. Лолаев А.Б., Бадоев А.С., Оганесян А.Х., Оганесян Э.Х., Арутюнова А.В., Саргсян М.М., Тваури И.В., Айларова В.Г. Технологическое решение устройства дамбы гидротехнического сооружения. Сборник статей 1-ой Всероссийской научно-практической конференции «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». Владикавказ, 2019.

57. Лолаев А.Б., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. Определение времени консолидации хвостов намывных хвостохранилищ. – «Успехи современной науки», № 1, Том 7. - Белгород. - 2017.

58. Лолаев А.Б., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. Применение сетевых графиков для оптимизации намыва хвостохранилищ // Успехи современной науки и образования", № 3, - Том 6. - Белгород. - 2017.

59. Лолаев А.Б., Бадоев А.С., Тваури И.В., Оганесян Э.Х. Определение параметров уплотнения водонасыщенных хвостов при формировании геотехнического массива. Материалы III Международной научно-практической конференции РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ В XXI ВЕКЕ. Владикавказ, 2021. С.326-332.

60. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В. Геоэкологические проблемы промышленной гидротехники в криолитозоне. –М., Недра. 2005.- 239 с.

61. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В. Проблема проектирования, строительства и эксплуатации хвостохранилищ // Сборник научных статей «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений на Крайнем Севере». – Норильск, 2003. – С. 55-61

62. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Бутюгина Л.В. и др. Геоэкологический анализ и оценка состояния гидротехнических сооружений НПП с выдачей рекомендаций по снижению негативного воздействия при их строительстве и эксплуатации. Отчет о НИР /НРО МАНЭБ. - Норильск, 2001. - 308 с.

63. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Бутюгина Л.В. и др. Оценка и прогноз устойчивости техногенных намывных грунтов в массивах гидротехнических

сооружений на базе микроструктурного анализа и моделирования. / Норильское региональное отделение МАНЭБ – Норильск, 2000. –114 с.

64. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Бутюгина Л.В. и др. Прогноз и оценка устойчивости ГТС хвостохранилища НМЗ. Отчет о НИР. /Норильское региональное отделение МАНЭБ. – Норильск, 1999. –136 с.

65. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Бутюгина Л.В. и др. Разработка технологии опережающего наращивания ограждающей дамбы хвостохранилища «Лебяжье»./ Норильский индустриальный институт. – Норильск, 2000.-193 с.

66. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Бутюгина Л.В. и др. Расчет устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища «Лебяжье» в условиях повышения интенсивности намыва до 2,0 м/год (на период 2004-2006 гг.). // Достижение науки и техники – развитию Норильского промышленного района: Сборник материалов научно-практической конференции / НИИ. - Норильск, 2003. – С. 258-260

67. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Бутюгина Л.В. и др. Рекомендации по обеспечению устойчивости хвостохранилища "Лебяжье". Отчет о НИР/ Норильское региональное отделение МАНЭБ. – Норильск, 1999. –142 с.

68. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Гришаева Л.В. и др. Предварительная оценка устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища "Лебяжье" Отчет о НИР. /НИИ, МГСУ.- Норильск, 1997. - 38 с.

69. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Гришаева Л.В. и др. Результаты расчетов устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища "Лебяжье" на участке ПК24-ПК37. Научно-технический отчет. /Норильский индустриальный институт. – Норильск, 2001.- 27 с.

70. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Кайтмазов Н.Г. и др. Гидротехнические сооружения Норильского промышленного района. Проблемы, стратегия, пути решения. Научно-практический семинар "Геокриологические геоэкологические проблемы строительства в районах

Крайнего Севера". Сб. трудов /Администрация г. Норильска, ОАО "НГК Норильский никель".15-17 марта 2001 г. - Норильск, 2001.- С. 14-20

71. Лолаев А.Б., Бутюгина Л.В. Вопросы устойчивости накопителей отходов обогащения в криолитозоне. // Достижение науки и техники – развитию Норильского промышленного района: Сборник материалов научно-практической конференции / НИИ. - Норильск, 2003. – С. 30-32

72. Лолаев А.Б., Гришаева Л.В. Исследование природно-техногенных факторов на устойчивость гидротехнических сооружений (на примере хвостохранилища «Лебяжье»). // Геокриологические и геоэкологические проблемы строительства в районах Крайнего Севера: Сборник материалов научно-практической конференции. - Норильск, 2001. – С. 110-113

73. Лолаев А.Б., Гришаева Л.В. Расчетное сопровождение экологической безопасности хвостохранилищ в эксплуатационный период. // Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2001. – С. 104-106

74. Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. К вопросу установления оптимальных технологических параметров ограждающей дамбы при формировании техногенных месторождений//Сборник научных работ преподавателей и аспирантов СКГМИ (ГТУ): Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – №6 (специальный выпуск 25). – М.: Изд-во Горная книга, 2018 – С. 52 – 61.

75. Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. Сетевое планирование при оптимизации технологических параметров намыва хвостохранилищ в криолитозоне//Сборник научных работ преподавателей и аспирантов СКГМИ (ГТУ): Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – №6 (специальный выпуск 25). – М.: Изд-во Горная книга, 2018. – С. 127 – 136.

76. Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. Способ возведения намывной ограждающей дамбы//Патент РФ №2654718. – 2017.
77. Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Оганесян Э.Х., Джаджиева О.З. Комплексная проблема прогноза и управления рисками в процессе возведения и разработки техногенных месторождений в криолитозоне. - Сборник статей научно-технической конференции обучающихся и молодых ученых СКГМИ (ГТУ) / «НТК-2016». Владикавказ, 2016.
78. Лолаев А.Б., Оганесян Э.Х., Арутюнова А.В., Дзобоев С.О., Илаев В.Э. Изучение физико-химических свойств лежалых хвостов методами выделения мономинеральных фракций / Тезисы Всероссийской конференции «Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические процессы природного и техногенного характера на Кавказе». - Владикавказ, 2014.
79. Лолаев А.Б., Оганесян Э.Х., Арутюнова А.В., Дзобоев С.О., Илаев В.Э. Изучение физико-химических свойств лежалых хвостов методами выделения мономинеральных фракций /Материалы Всероссийской конференции «Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические процессы природного и техногенного характера на Кавказе». - Владикавказ, 2015.
80. Лятхер В.М. и Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование. Москва :Энегргоатомиздат, 1984.
81. Макаров В. И. Термосифоны в северном строительстве. – Новосибирск: Наука, 1985. – 168 с.
82. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М.: Высшая школа, 1968.
83. Мелентьев В.А., Павчич М.П. Катастрофические аварии хвостохранилищ. //Гидротехническое строительство, 1986, № 11.
84. Мельник В. Г., Лычагин Е. В., Жабовский В. П., Гришаев А. В. Способ намыва сооружений. СССР, а. с.1583524, Е 02 В 7/06, заяв.11.05.88г., №4422238/23-15.

85. Месяц С.П., Волкова Е.Ю. Обоснование способов сохранения техногенного минерального сырья, складированного в отвалы отходов рудообогатения. // Вестник МГТУ, том 12, №4, 2009 г. стр.735-741.
86. Методика обоснования состава и объемов инженерно-геологических изысканий для строительства различных типов зданий и сооружений промышленного, сельскохозяйственного и жилищно-гражданского назначения в районах распространения вечномёрзлых грунтов с учетом требований проектирования. /автор А.И.Левкович - М.: Изд-во Госстроя РСФСР, 1989, 173 с
87. Мешков В. А. Способ наращивания хвостохранилища. СССР а. с. 1240822, Е 02 В 7/06, заяв.08.01.85г., №3838124/29-15
88. Мирзаев Г.Г., Иванов Б.А., Щербаков В.М., Проскураков Н.М. Экология горного производства: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1991. – 320 с.
89. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965
90. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний //Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1986, № 5.- с. 3-28,
91. Нариньяни А.С. НЕ-факторы и инженерия знаний: от наивной формализации к естественной прагматике. /КИИ-94. Сб.научн.трудов.- Рыбинск, 1994.- С. 9-18
92. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта /Под ред. Д. А. Поспелова. -М.: Наука, 1989. - 312 с.
93. Ничипорович А.А. Плотины из местных материалов. – М.: Стройиздат, 1973. – 342 с.
94. Огарков А. А., Пантелеев В. Г. Способ возведения намывного сооружения. СССР, а.с.1771498, Е 02 В 7/06, заяв.12.03.91г., №4919234/15.

95. Отчет «О комплексных инженерных изысканиях, выполненных на объекте: хвостохранилище № 2 Норильского горно-металлургического комбината им А.П. Завенягина». / "КрасТИСИЗ, Красноярск, 1991. 113 с.
96. Отчет годовой. «Состояние хвостохранилища № 2 Норильской обогатительной фабрики на озере Лебяжье в 1998 г.» / АО "Норильский комбинат" Цех гидротехнических сооружений и гидротранспорта. Норильск. 1999. 33 с.
97. Отчет о НИР по государственному контракту №16.515.11.5027 СКГМИ (ГТУ) «Исследования и разработка инновационных технологий комбинированной переработки и утилизации отходов предприятий цветной металлургии». Владикавказ. 2012.
98. Отчет технический. «Определение физико-механических свойств отсыпных хвостов ограждающей дамбы хвостохранилища "Лебяжье"». /ОКИЗ "Норильскпроект". Норильск, 1997. 5 с.
99. Отчет. «Геотехнические и фильтрационные исследования хвостохранилища на оз. Лебяжьем.» / ВНИИ "ВОДГЕО", Том 1, М., 1978. 135 с.
100. Отчет. «Геотехнические и фильтрационные исследования хвостохранилища на оз. Лебяжьем.» /ВНИИ "ВОДГЕО", Том 2, М., 1978. 129 с.
101. Отчет. «Исследование устойчивости ограждающей дамбы в примыкании к участку расширения хвостохранилища Норильского горно-металлургического комбината им А.П. Завенягина.» /ВНИИ ВОДГЕО. М.: 1976. 144 с.
102. Отчет.«Результаты гидрогеологических и инженерно-геологических работ на хвостохранилище "Лебяжье"»./ПП "Норильскгеология". Талнах. 1999. 17 с.
103. Пахомов С.И., Монюшко А.М. Инженерно-геологические аспекты техногенного изменения свойств глин. М.: Наука, 1988.- 120 с.

104. Перльштейн Г.З. Павленков Д.А. и др. Естественное промораживание отходов рудообогащения. Материалы Второй конференции геокриологов России. МГУ им. М.В. Ломоносова. 6-8 июня 2001 г. Т. 4. Инженерная геокриология. - М.: изд-во МГУ. 2001.- С. 215-221
105. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых и шламовых хозяйств горнорудных и нерудных предприятий./ Редкол.: А.М. Ильин и др.; Утв. Госгортехнадзором СССР 22.12.87 – М.: Недра. 1989. – 48 с.
106. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых, шламовых и гидроотвальных хозяйств. ПБ-06-123-96., 1997. - 99 с.
107. Предварительная оценка устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища "Лебяжье" /НИИ, МГСУ. Норильск 1997.-38 с.
108. Проект зимнего намыва хвостохранилища «Лебяжье» на 2008 – 2010 гг.» шифр 33016 – 17, ЗАО «МЕХАНОБР ИНЖИНИРИНГ», 2008.
109. Проект наращивания хвостохранилища "Лебяжье" и разработка режимы гидротранспорта хвостов НОФ на 1996-1999 г.г. II этап. Проект наращивания хвостохранилища "Лебяжье" на 1997-2000 г.г. Проект / АОЗТ "Механобр инжиниринг", шифр 30450-2, Санкт- Петербург, 1997.
110. Проект "Хвостохранилище "Лебяжье". Опытный участок складирования хвостов конусным способом". АОЗТ "Механобр инжиниринг" г. С.- Петербург, 2004
111. Проект эксплуатации хвостохранилища "Лебяжье" на 2008-2010 г.г. ЗАО "Механобр инжиниринг" г. С.- Петербург, 2007
112. Проект эксплуатации хвостохранилища "Лебяжье" на 1998 - 2000 г.г., АОЗТ "Механобр инжиниринг" г. С.- Петербург, шифр 30760-,1998 г. 108 с.
113. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России: Учебное и справочное пособие. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 672 с.

114. Прохоров Н. Н., Вагин В. Б., Чуров В. А., Невельсон И. С. // Оценка состояния земляных дамб по результатам геофизических исследований. Горный журнал, 2003, № 7, с. 86.
115. Разработка оптимальной технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища "Лебяжье": Отчет о НИР - I и II тома / СКГМИ (ГТУ). – 2010
116. Разработка технологии опережающего наращивания ограждающей дамбы хвостохранилища "Лебяжье"./ Норильский индустриальный институт, Норильск. 2000.-193 с.
117. Рауз Х. Механика жидкости. Пер. с англ. – М., Изд-во литератур. по строит., 1967.
118. Рекомендации по обеспечению устойчивости хвостохранилища "Лебяжье". Отчет./ МАНЭБ. Норильск, 1999. 142 с.
119. Рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и хвостохранилищ металлургической промышленности/ВНИИ ВОДГЕО.- М.: Стройиздат, 1986.-128 с.
120. Ричардсон Э. Динамика реальных жидкостей. М. Мир, 1965.
121. Розанов Н.Н. Плотины из грунтовых материалов. - М.: 1983. – 367 с.
122. Розовский Л. Б. «Введение в теорию геологического подобия и моделирования. Применение природных аналогов и количественных критериев подобия в геологии», - М.: Недра, 1969
123. Рошупкин А. В. Способ намыва грунтового сооружения. СССР, а. с. 1479567, Е 02 В 7/06, заяв.26.06.87г., №4268508/29-15.
124. Рошупкин А. В., Кузнецов Ю. М., Пименов В. Т., Пеняскин Т. И., Степанов Г. П., Будько И. П., Адрианов Г. Ф. Способ намыва грунтового сооружения. СССР а.с.1523640, Е 02 D 17/18, заяв.11.06.78г., №4278504/23-03.

125. РСН 75–90. Инженерные изыскания для строительства технические требования к производству геофизических работ. каротажные методы. Госстрой РСФСР. – М., 1990
126. Рященко Т.Г. и Акулова В.В. Грунты юга Восточной Сибири и Монголии. Новосибирск: СО РАН, 1998. – 156 с.
127. Рященко Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2010. – 287 с.
128. Рященко Т.Г., Акулова В.В. Проблемы лессоведения юга Восточной Сибири и сопредельных территорий (опыт регионального анализа) // Лессовые просадочные грунты: исследования, проектирование и строительство. Докл. плен. заседания Международной научн.-практ. конф. – Барнаул, 1997. – С. 26-45.
129. Рященко Т.Г., Вашестюк Ю. В., Гринь Н. Н. Метод «Микроструктура» в практике региональных инженерно-геологических исследований лессовых и глинистых грунтов: монография. - Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2021. – 130 с.
130. Рященко Т.Г., Вашестюк Ю.В. Сравнительный анализ параметров микроструктуры глинистых и лессовых грунтов (программа «стандартная статистика»)// ВЕСТНИК ИрГТУ №9 (56), 2011. – С.64-72.
131. Саратов И. Е., Камышник С. С., Осадчий К. Ф., Фрадлин З. М. Способ возведения хвостохранилища. СССР, а. с.15503032, Е 02 В 7/06, заяв.15.04.88 г., №15503032.
132. Сборник руководящих материалов по надзору за эксплуатацией гидротехнических сооружений на подконтрольных Госгортехнадзору России предприятиях и объектах /Сост.: А.М.Ильин, В.Т.Галзитский, С.Г. Аксенов, А.В. Хныкин.-Белгород, 1999. - 305 с.
133. Сергеев Е.М. Инженерная геология. М.: Изд-во Моск. ун-та.1978.- 384с.
134. Сидаков А.Г., Гегуев С.М., Цидаев Т.С. Управление состоянием хвостохранилищ нагорных рудников. // Колыма, 2002, № 4. - С. 37-40

135. СНиП 2.02.02.85. Основания гидротехнических сооружений. /Госстрой СССР, 1986.- 48 с.
136. СНиП 2.02.02-85* «Основания гидротехнических сооружений» - Москва, 2011. - 114стр
137. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990, - 56 с.
138. СНиП 2.06.05-84*. Плотины из грунтовых материалов. М.: Госстрой СССР, 1991
139. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения (с 01.01.2004 взамен СНиП 2.06.01-86) – Госстрой России. 2004г.
140. СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения». Основные положения проектирования. М.: Госстрой СССР. 1987г.
141. Типовая инструкция по эксплуатации хвостовых хозяйств обогатительных фабрик/Минчермет СССР, Минцветмет СССР, Минхимпром СССР. М.-1976 г.
142. Томаков П.И., Коваленко В.С., Михайлов А.М., Калашников А.Т. Экология и охрана природы при открытых горных работах. - М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 1994. – 418 с.
143. Трофимов В.Т. и др. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду. //Геоэкология. 1995,. №5. - С. 96-107
144. Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.1997, № 116-ФЗ (действующая редакция, 2016).
145. Хрусталева Л.Н. Первоочередные проблемы инженерной геокриологии. Материалы Второй конференции геокриологов России. МГУ им. М.В. Ломоносова. 6-8 июня 2001 г. Т. 4. Инженерная геокриология.- М: изд-во МГУ, 2001.- С. 303-309
146. Цветкова С.Г. Опыт строительства плотины в районах распространения вечномерзлых грунтов. //Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры. М.: Изд-во АН СССР. 1960, вып. 6. - С.87-112

147. Цытович Н.А. К вопросу расчета фундаментов сооружений, возводимых на вечной мерзлоте // Научно-исследовательские работы Гипромеза. – Л., 1928, вып. 2. - 67 с.

148. Цытович Н.А., Ухова Н.Б., Ухов С.Б. Прогноз температурной устойчивости плотин из местных материалов на вечномерзлых грунтах. – Л., Стройиздат, 1972. – 142 с.

149. Чжан Р.В. Мониторинг за низкопорными гидроузлами в криолитозоне. Научно-практический семинар "Геокриологические геоэкологические проблемы строительства в районах Крайнего Севера". Сб. трудов /Администрация г. Норильска, ОАО "НГК Норильский никель".15-17 марта 2001 г. Норильск, 2001. - С. 85

150. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). Ленинград., Энергоатомиздат. 1982. 672 с.

151. Шкода В.С. Применение математического аппарата при решении технологических проблем гидронамыва. Сборник тезисов докладов «Дни науки 2000». - Норильск: Норильский индустриальный институт, 2000.

152. Шкундин Б. М., Фомин Г. Д., Кожевников Н.Н. Устройство для формирования свободного откоса намывного сооружения. СССР, а.с.1366588, заяв.09.07.86 г., № 4091943/29-15.

153. Щёкина М.В. Оценка долговременной устойчивости отсечной дамбы хвостохранилища Михайловского гока // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2006. - Т. 8. - № 1. - С. 332-335.

154. Щекина М.В., Салтанова Е.А., Ермолов А.В. Совершенствование методики и технических средств натуральных исследований техногенных массивов / доклад на симпозиуме «Неделя горняка -2001». – МОСКВА. МГГУ - 29 января - 2 февраля, 2001 г.

155. Davis, R. and Smith, R. G. (1983). Negotiation as a metaphor for distributed problem solving. Artificial Intelligence, 20:63–109;

156. Lolaev A., Oganesyanyan A., Badoev A., Oganesyanyan E. Determination of the optimal moisture content to ensure the consolidation of the tailing dump.

Proceedings of the 1-st Mediterranean Geosciences Union Annual Meeting (MedGU-21). Istanbul, Turkey, 2021.

157. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. Geotechnical modelling of technological parameters of the tailing dam alluvium. "Lecture Notes in Civil Engineering" Springer, Hanoi 2019. Pp. 1159-1167.

158. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. Geotechnical modelling of technological parameters of the tailing dam alluvium. Proceedings of 4-th International Conference on "Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development" GEOTEC (Hanoi, Vietnam, 2019). Book of Abstracts and Lectures. 2019. P.274.

159. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. Methodology of the estimated monitoring for the tailings dam stability. Proceedings of 3-rd International Conference on Information Technology in Geo-Engineering (ICITG2019). Guimaraes, Portugal, 2019. Pp. 644-653.

160. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. Proceedings of 3-rd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG). Sousse, Tunisia, 2020. (2022).

161. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. The Algorithm of Geotechnical Massif Forming Considering the Consolidation Time and Network Planning Method. Proceedings of 2-nd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG). Sousse, Tunisia, 2019. (2022).

162. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A.S., Oganessian E. Tailing dams formation algorithm. Arab J Geosci 13, 974 (2020).

163. Lolaev A.B., Akopov A.P., Oganessian A.Kh., Oganessian E.Kh., Georgetti G.B. Laboratory and In-Situ Testing and Physical Modelling of the Tailing Dump Capacity Increasing in a Mode of Operation. - Proceedings of XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering "The Sustainable Future of Brazil goes through hour Minas "COBRAMSEG 2016, Belo Horizonte, BRAZIL, 2016.

164. Lolaev A.B., Akopov A.P., Oganessian A.Kh., Oganessian E.Kh., Sumin M.N. Geotechnical Modeling of the Tailing Dam Stability - Proceedings of 1st International Conference on Natural hazards & Infrastructure. Chania, GREECE. 2016.

165. Lolaev A.B., Sumin M.N., Oganessian E.Kh., Akopov B.P. Geotechnical modeling and numerical analysis of the tailing dam stability in permafrost region- Proceedings of 2-nd International Conference "Geotechnics for Sustainable Development", Hanoi, VIETNAM. 2013.

166. Swindels. Design criteria and disposal planning for mine tailings storage. Proc. of the Int. Workshop on Management the tailing Disposal ISMF/SIDA/UNEP. Stockholm, Sweden. – 1997. pp. 89-99.

167. Zadeh, L.A. Fuzzy algorithms // Information and Control. 1968. Vol.12, No 2. pp. 94-102.